



# Analyse multiscalaire et multifactorielle de l'évolution et du comportement géomorphologique des systèmes côtiers sud bretons

Soizig Pian

## ► To cite this version:

Soizig Pian. Analyse multiscalaire et multifactorielle de l'évolution et du comportement géomorphologique des systèmes côtiers sud bretons. Géomorphologie. Université Rennes 2; Université Européenne de Bretagne, 2010. Français. NNT : 2010REN20067 . tel-00747056

**HAL Id: tel-00747056**

**<https://theses.hal.science/tel-00747056>**

Submitted on 30 Oct 2012

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Présentée par

**Soazig Pian**

Préparée à l'Unité Mixte de recherche 6554

Université Rennes 2 Haute-Bretagne

COSTEL LETG UMR 6554 CNRS FR/IFR CAREN

**THESE / UNIVERSITE RENNES 2 HAUTE  
BRETAGNE**

*sous le sceau de l'Université européenne de Bretagne*

pour obtenir le titre de

**DOCTEUR DE L'UNIVERSITE EUROPEENNE DE BRETAGNE**

*Mention : Géographie*

**Ecole doctorale Sciences Humaines et Sociales**

# Analyse multiscalaire et multifactorielle de l'évolution et du comportement géomorphologique des systèmes côtiers sud bretons

**Thèse soutenue le 9 Septembre 2010**

devant le jury composé de :

**Stephane Costa**

Professeur, Université de Caen Basse Normandie – Geophen UMR 6554 LETG /  
*Président de Jury*

**Marc Robin**

Professeur, Université de Nantes – laboratoire Geolitomer UMR 6554 LETG /  
*rapporteur*

**Mylène Ruz Héquette**

Professeur, Université du Littoral de la Côte d'Opale – Geodal MREI2 / *rapporteur*

**Mouncef Sédrati**

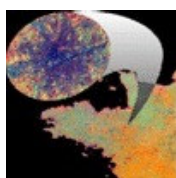
Maître de conférences, Université de Bretagne Sud – laboratoire GEOARCHITECTURE,  
EA, 2219/ *examineur*

**David Menier**

Co-directeur de thèse

**Hervé Regnauld**

Directeur de thèse



Au cours de la réalisation de ce travail, j'ai eu l'occasion de rencontrer et d'échanger avec de nombreuses personnes qui m'ont aidée, conseillée ou encouragée. A l'heure où le temps s'accélère à mesure que s'approche le moment de rédiger ces derniers mots, je tiens à remercier l'ensemble des personnes qui m'ont entourée et soutenue.

Ma reconnaissance s'adresse évidemment à mes deux directeurs de thèse : Hervé Regnaud (Professeur - Université Rennes 2) et David Menier (Maître de conférence - Université Bretagne Sud) qui m'ont incitée à m'engager dans ce travail de recherche et en ont permis la réalisation. Je les remercie autant pour leurs conseils que pour la confiance qu'ils m'ont accordée lors de la réalisation de ces recherches. Je remercie également l'ensemble des membres du laboratoire COSTEL au sein duquel j'ai été accueillie et notamment Laurence Hubert-Moy (Professeur – Université Rennes 2) pour son soutien.

J'adresse également mes remerciements aux enseignants-chercheurs qui ont accepté de s'intéresser à ces travaux et de siéger dans le jury : Mylène Ruz-Héquette (Professeur – Université du littoral – Côte d'Opale) et Marc Robin (Professeur, Université de Nantes) qui m'ont, par ailleurs, précieusement conseillée. Je remercie également Stéphane Costa (Professeur - Université de Caen) et Mouncef Sédrati (Maître de conférence, Université de Bretagne Sud).

Je voudrais aussi adresser mes remerciements à l'ensemble des enseignants-chercheurs avec qui j'ai pu échanger au cours de ces dernières années et dont les remarques ou les conseils m'ont aidé à progresser dans la réalisation de ce travail de recherche. A cet égard, je tiens à remercier plus particulièrement Nadia Dupont (maître de conférence – Université Rennes 2) pour m'avoir formée à l'utilisation du théodolite laser et Jean-Pierre Marchand (Professeur émérite – Université Rennes 2) dont les conseils m'ont aidé à dépasser certaines difficultés. Je remercie également Jean-Noël Proust (Professeur - Université Rennes 1), Marie-Yvonne Daire (Professeur - Université Rennes 1) et Serge Suanez (Maître de conférence HDR - Université de Bretagne Occidentale) pour m'avoir fait part de leurs observations. Enfin, je remercie Ollivier Planchon (Chargé de recherche CNRS - COSTEL) pour son aide, Samuel Corgne (Maître de conférence - Université Rennes 2) et Johan Oszwald (Maître de conférence - Université Rennes 2) pour leurs relectures et leurs remarques.

Je remercie également Didier Collonge, Christophe Verhague et Patrick Lecomte dont les rencontres et les discussions ont aidé à l'avancement de ces travaux, ainsi que Fabrice Lecornu (IFREMER) et Le Berre Alain (CETMEF) qui m'ont facilité l'accès aux bases de données PREVIMER et CANDHIS.

Par ailleurs, la réalisation de ce travail a nécessité de passer de nombreuses journées sur le terrain, et je tiens à remercier Alexandre, qui m'a souvent accompagnée, (parfois au péril de sa vie !!), Marie, Tifenn, toujours partantes pour un bon bol d'air et une bonne baignade, mais aussi Emilie (et la C3), Jean et Sébastien. Tous m'ont précieusement aidée en acceptant de m'accompagner sur les plages de Bretagne Sud.

A côté de ces journées passées sur le terrain, il y a eu aussi toutes ces longues journées passées au sein du laboratoire COSTEL, dans «la salle des doctorants». A l'heure des remerciements, je tiens à accorder une pensée particulière à tous mes collègues « doctorants et assimilés » avec qui j'ai pu partager de nombreuses heures de travail mais aussi des moments de détente et de discussion, précieux pour continuer d'avancer.

Avant tout, je remercie plus particulièrement les filles, « mes copines du labo » : Janique, ma binôme des premiers jours, pour sa compréhension, pour tous les bons moments et les expériences partagés depuis le Master 2, du Oans à la N206 (!) ; et Emilie, pour tous les services rendus, pour ses nombreuses relectures et son écoute ! Je n'oublie pas non plus « les gars » et j'adresse un grand merci à Jean, pour toutes ses aides, tous ses conseils, son écoute aussi ; et à Damien, pour sa gentillesse, avec une spéciale dédicace aux TD de techniques d'enquête bien sur ! Je salue aussi Maxime, Antoine et Cyril pour leurs coups de main ... avec une pensée pour les apéros et les soirées ... Chloé pour sa bonne humeur et les échappées à la piscine ... Enfin, je n'oublie pas les autres : Jonathan, pour m'avoir initiée au DGPS et pour les coups de pouce bibliographiques, Anaïs, Pauline, Sébastien, Rahim, Rémi et Clémence. Pensant à mes collègues rennais, j'adresse aussi une pensée à mes collègues vannetais : Camille, Guilhem, Florent et Alexandre.

Je remercie également Marie, Tifenn, et Dominique qui m'ont gentiment hébergée lors de mes « tours de Bretagne » entre Vannes, Brest et Rennes.

Enfin, c'est avec beaucoup de reconnaissance et d'affection que je pense à mes proches, à ma famille et à mes amies. A mes parents, Jean et Claudine, et mes frères et soeur, Yann, Anaïk et Loïc, j'adresse un remerciement qui va bien au delà de toute l'aide et de tout le soutien qu'ils ont pu m'apporter lors de la réalisation de ce travail. Je remercie Emeline, Clémence L., Jean-Alain, Claudine, Anaïk et Pascale pour leurs relectures, Jean pour son aide, ses remarques et ses conseils. Je salue mes amis rennais et parisiens pour leurs encouragements. Enfin, je remercie Erwann pour sa présence, son aide, sa patience et son soutien ... sans lui, tout aurait été plus dur !

Sans ces aides et sans ces soutiens, ce travail aurait été bien difficilement achevé et je vous remercie chaleureusement de m'avoir aidée à le mener jusqu'au bout.



## LISTE DES SIGLES ET DES ABREVIATIONS

ACM	Analyse en Composantes Multiples
ADCP	Acoustic Doppler Current Profiler
CAH	Classification Ascendante Hiérarchique
CANDHIS	Centre d'Archivage National des Données de Houle In Situ
CEC	Corinne Erosion Côtière
CETMEF	Centre d'Etudes Techniques Maritimes et Fluviales
COSTEL	Climat Occupation du Sol Télédétection
BD Ortho	Base de Données Orthophotographie
DBF	Data Base File
DGPS	Differential Global Positioning System
HBDS	Hypergraph Based Data Structure
ECW	Enhanced Compression Wavelet
IFEN	Institut Français de l'Environnement
IFREMER	Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer
IGN	Institut Géographique National
INSEE	Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques
IUEM	Institut Universitaire Européen de la Mer
MCD	Modèle Conceptuel de Données
NETCDF	Network Common Data Form
NTF	Nouvelle Triangulation Française
PSM	Période de Suivi Morphologique
REFDIF-SUDBZH	Réfraction - Diffraction/ Sud Bretagne
RMS	Root Mean Square
SHOM	Service Hydrographique et Océanographique de la Marine
SIG	Système d'Information Géographique
STNMTE	Service Technique de la Navigation Maritime et des Transmissions d'Equipement
TIFF	Tagged Image File Format
UBS	Université de Bretagne Sud
UML	Unified Modelling Language

## LISTE ABREGEE DES SYMBOLES

D	Diamètre des sédiments en mm
$\varepsilon$	Paramètre d'échelonnement de barres
$\phi$	Diamètre des sédiments en phi
g	Accélération de la gravité
Hb	Hauteur de la houle au déferlement
Hc	Profondeur de clôture
HMO	Hauteur significative spectrale des vagues (base de données CANDHIS)
Ho	Hauteur de la houle au large
Hs	Hauteur significative de la houle
Hsx	Amplitude maximale des vagues de tempête dépassée 12h par an
Lo	Longueur d'onde de la houle au large
$\mu$	Diamètre moyen des sédiments
MSR	Marnage moyen de vives eaux
RTR	Relative Tidal Range
$\delta$	Fréquence radiale de la houle
$\sigma$	Indice de tri des sédiments
Sk	Indice d'asymétrie des sédiments
T	Période
Tanb	Pente de la plage
TH13D	Période significative (base de données CANDHIS)
TO2	Période moyenne (Base de données CANDHIS)
Ts	Période significative
Tsx	Période associée à l'amplitude maximale des vagues de tempête dépassée 12h par an
ws	Vitesse de chute des sédiments
$\zeta$	Paramètre de réplication de barres

## SOMMAIRE

Introduction .....	8
--------------------	---

## Partie I : Le littoral Sud breton : un espace littoral entre « nature » et « société » .. 17

<b>Chapitre 1 : Synthèse des données disponibles et utilisées pour étudier les littoraux Sud bretons .....</b>	<b>18</b>
I. Présentation des bases de données hydrodynamiques et météorologiques.....	18
II. Acquisition des données décrivant la morphologie du littoral .....	21
III. Présentation des données numériques et spatiales .....	30
<b>Chapitre 2 : Présentation générale du littoral Sud breton .....</b>	<b>34</b>
I. Les contraintes hydrodynamiques.....	34
II. Description du cadre géologique et géomorphologique : état de l'art.....	41
III. Données relatives à l'anthropisation du littoral étudié.....	53
<b>Chapitre 3 : Présentation détaillée des cinq systèmes littoraux retenus pour l'analyse .....</b>	<b>58</b>
I. Le massif dunaire Gâvres - Penthièvre .....	58
II. La façade Ouest de la presqu'île de Quiberon.....	63
III. La baie de Quiberon.....	66
IV. Le Golfe du Morbihan .....	71
V. La presqu'île de Rhuys .....	76

## Partie II : Analyse du comportement géomorphologique des systèmes littoraux sur le long terme..... 83

<b>Chapitre 4 : Analyse du comportement des systèmes côtiers sur le long terme : approche méthodologique.....</b>	<b>85</b>
I. Quantification et cartographie de la mobilité du trait de côte .....	85
II. Analyse spatiale de la mobilité du trait de côte .....	95
III. Traitements statistiques : méthode appliquée.....	119
<b>Chapitre 5 : Interprétation des résultats et analyse des contraintes naturelles et anthropiques contrôlant la cinématique du trait de côte.....</b>	<b>128</b>
I. Cartographie des variations du trait de côte par secteur .....	128
II. Interprétation des résultats des analyses spatiales et analyse des relations entre les différentes contraintes contrôlant l'évolution du trait de côte .....	148
III. Analyse des relations de dépendances statistiques entre les variables : interprétation des résultats .....	191
IV. Mobilité du trait de côte et fonctionnement des systèmes côtiers sur le long terme : éléments de synthèse .....	253
<b>Chapitre 6 : Risques et vulnérabilité des systèmes côtiers face au recul du trait de côte.....</b>	<b>262</b>
I. Les concepts de risque et de vulnérabilité en géomorphologie littorale .....	262
II. Analyse de l'occurrence des processus érosifs en Bretagne Sud entre 1952 et 2004 et analyse des interactions entre « contraintes naturelles » et « contraintes anthropiques » .....	265
III. Analyse du risque d'érosion côtière et de la vulnérabilité du littoral morbihannais face au recul du trait de côte .....	275

Partie III : Analyse du comportement morphologique et morphodynamique des plages sur le court terme (échelle annuelle) .....	285
--	-----

<b>Chapitre 7 : Acquisition et traitements des données terrain.....</b>	<b>286</b>
I. Mesure des variations topographiques des plages .....	286
II. Identification du comportement morphodynamique des plages.....	290
III. Prélèvements et traitements des échantillons sédimentaires .....	297

<b>Chapitre 8 : Analyse et interprétation des données terrain.....</b>	<b>302</b>
I. Analyse des variations des profils de plage .....	302
II. Analyse des comportements morphodynamiques des plages observées entre Février 2008 et Juin 2009.....	341
III. Analyse des données granulométriques .....	356

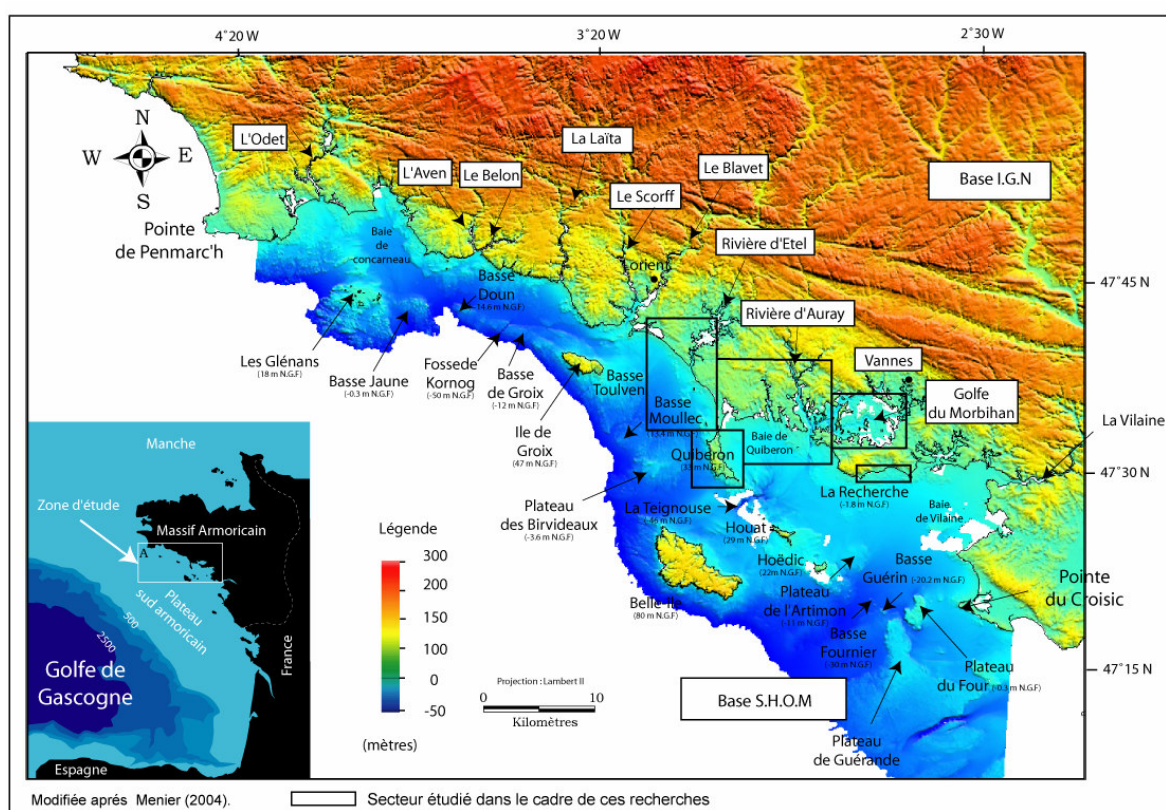
<b>Chapitre 9 - Evolution morphologique, comportements morphodynamiques et fonctionnements géomorphologiques des systèmes dunes-plages : éléments de synthèse.....</b>	<b>366</b>
I. Synthèse des comportements morphodynamiques à court terme.....	366
II. Synthèse des comportements à court et long termes.....	373

Conclusion Générale .....	392
---------------------------	-----

*Les recherches présentées dans le cadre de cette thèse ont été réalisées au sein du laboratoire COSTEL (UMR 6554 LETG) à l'Université de Haute Bretagne (Rennes 2), en partenariat avec l'Université de Bretagne Sud. Elles ont été financées par le ministère de la Recherche et le Conseil Général du Morbihan ainsi que des financements privés, octroyés dans le cadre d'un contrat Doctorat-conseil signé entre les sociétés Lafarge Granulat, Italcementi group et l'Université de Rennes 2 (laboratoire COSTEL). Ces recherches participent d'un projet portant sur le fonctionnement des environnements littoraux Sud bretons. Elles ont été réalisées en partenariat avec d'autres équipes de recherche travaillant tout à la fois sur la géologie de la plateforme et la morphologie de la zone côtière (Menier, 2004, 2006), l'archéologie et l'histoire de l'espace littoral [laboratoires Sollito (UBS), Archéo-Science et Géoscience (Rennes 1)].*

## INTRODUCTION

Ces travaux s'intéressent au fonctionnement géomorphologique du littoral morbihannais (carte i.1), situé entre la pointe du Talut (Lorient) et l'estuaire de la Vilaine (Penestin). Ils s'inscrivent dans la continuité des études initiées dans le cadre de mon mémoire de master, qui avaient pour objectif de quantifier et d'analyser la répartition spatiale des processus d'érosion et d'accrétion dans le Golfe du Morbihan (*Pian, 2006, Pian et al., 2007*).



*Carte i.1 : Localisation générale de la zone d'étude*

## Contexte général de l'étude

Situé à l'interface entre la terre, la mer et l'air, le littoral s'apparente à un milieu régi par des dynamiques à la fois maritimes, terrestres et atmosphériques, dont l'évolution et le fonctionnement sont marqués par une forte variabilité spatiale et temporelle (*Carter, 1999, Haslett, 2000*). Ces contraintes physiques contribuent à définir un agencement de processus et de formes variées – falaises rocheuses, plages de sables, vasières ... – qui permettent le développement de différents types de systèmes côtiers. Les conditions météorologiques et hydrodynamiques qui contrôlent la formation et l'évolution de ces systèmes côtiers varient sur différentes échelles temporelles (*Carter, 1999, Haslett, 2000*). Ces variations impliquent une mobilité des formes littorales sur différentes échelles spatiales.

Il en résulte que les systèmes côtiers fonctionnent sur différentes échelles de temps et d'espace, emboîtées les unes aux autres (Cowell et Thom, 1994). La figure i.1, réalisée d'après la figure proposée par Cowell et Thom (1994) représente graphiquement l'emboîtement de ces différentes échelles spatio-temporelles.

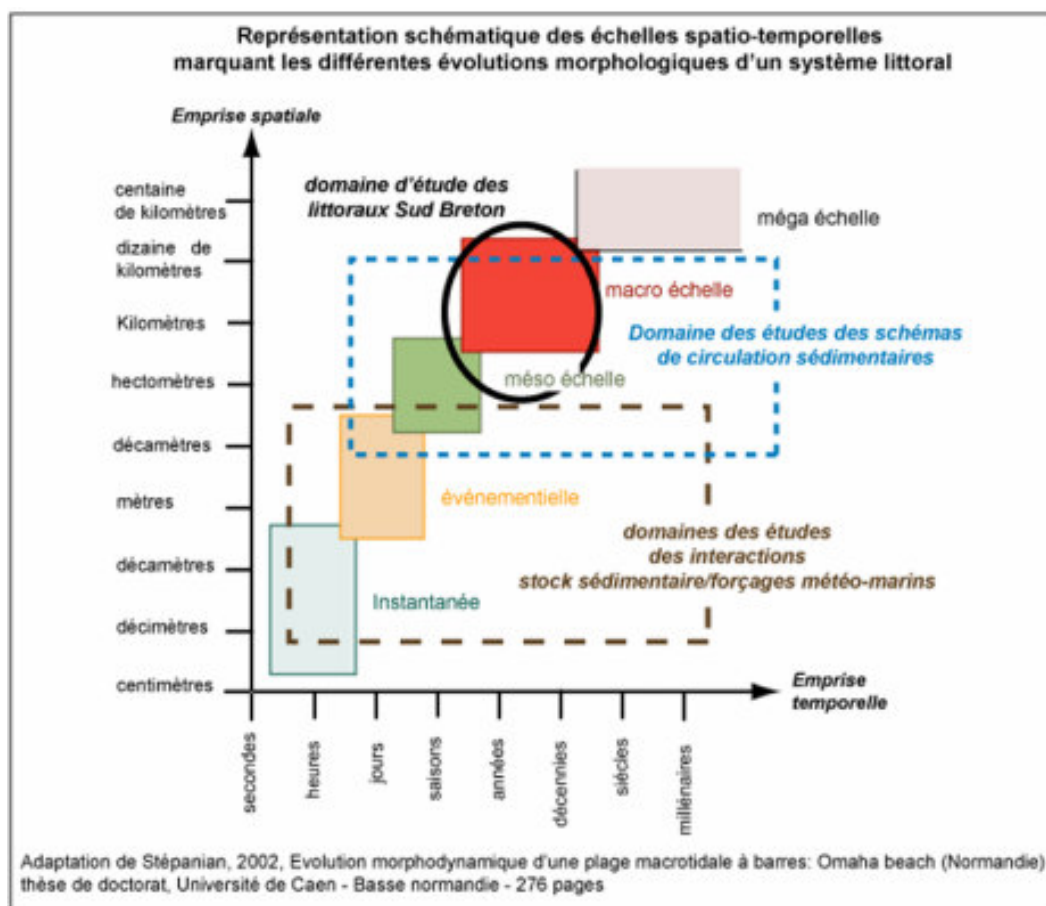


Figure i.1: Représentation des différentes échelles spatio-temporelles associées à l'analyse en géomorphologie littorale d'après les travaux de Cowell et Thom (1994)

L'analyse de l'évolution des formes littorales sur ces différentes échelles de temps et d'espace s'inscrit dans des cadres théoriques différents : les approches morphodynamiques s'intéressent principalement aux grandes échelles spatio-temporelles, en modélisant et quantifiant les interactions existant entre d'une part, l'évolution des formes sédimentaires, et d'autre part, les processus physiques de transfert d'énergie et de matière, sur le court et très court terme. Dans cette perspective, de nombreux travaux (Masselink et Short, 1993; Fordes et al., 1995, Levoy et al., 1998; Wijnberg et Kroon, 2002; Anthony et al., 2006, Masselink et al., 2006; Sedrati et Anthony, 2007; Frihy et al, 2008, Héquette et al. 2008, Masselink et al., 2008, Sabatier et al., 2009, Sedrati et al., 2009, de Souza Pereira et al., 2010) ont cherché à analyser et à mesurer les variations topographiques des plages afin de modéliser leurs réponses morphologiques aux variations des conditions d'agitation.

D'un autre côté, l'identification des principaux schémas de circulation sédimentaire régulant l'évolution du littoral sur des pas de temps plus longs nécessite de réaliser des études à plus petites échelles. Les processus de transports sédimentaires, à long et moyen termes, peuvent être appréhendés à partir de l'analyse de la mobilité du trait de côte (*Byrnes et Hiland, 1995, Larson et Krauss 1995*), en se plaçant dans le cadre théorique de la cellule sédimentaire (*Bowen et Inmann, 1966, Stapor, 1971, Stapor et May, 1983, Bray, 1995, Komar, 1996*), définie comme une unité géomorphologique cohérente au sein de laquelle l'évolution des formes littorales résulte des logiques d'abrasion, de transport et d'accumulation des matériaux sédimentaires, sous l'action des courants de houle et de marée.

Ces deux types d'approches présentent une certaine complémentarité dans la mesure où elles permettent d'appréhender la mobilité sédimentaire contrôlant l'évolution des paysages côtiers à différentes échelles (*Levoy, 1994*). Les travaux de Sabatier et al. (2009) ont ainsi souligné l'importance des liens entre les échanges sédimentaires dunes-plages opérant à court et long terme. Ces relations inter-scalaires, bien que difficilement modélisables, contribuent à expliquer une part non négligeable de l'évolution morphologique des systèmes côtiers et constituent un champ d'investigation nouveau pour la géomorphologie littorale (*Sherman, 1995, Stive et al., 2002, Aagaard et al., 2004*).

Au-delà de ce cadre physique, les littoraux sont également des espaces de vie, construits et aménagés par les sociétés. L'histoire de l'occupation des littoraux par les populations est associée aux développements d'usages spécifiques, généralement dépendants de la proximité du bord de mer (*Bonnot, 1995*). En France, depuis le XVIII<sup>e</sup> siècle, l'attractivité des littoraux est croissante. Depuis les années 1950 et 1960, elle s'intensifie parallèlement à la multiplication des usages touristiques de la frange côtière (*Breton, 2004*).

Selon Nordstrom (2000), cette anthropisation des espaces littoraux se traduit par une artificialisation des systèmes côtiers entraînant une modification des paysages et des processus contrôlant l'évolution des formes littorales. Ainsi, les littoraux s'apparentent à des milieux originaux permettant le développement de systèmes territoriaux complexes, fonctionnant sur différentes échelles spatio-temporelles. Ils sont régis, d'une part, par des contraintes physiques et environnementales régissant leurs fonctionnements (*Veyret, 1999*), et d'autre part, sont marqués par de fortes spécificités anthropiques interagissant avec ces dynamiques physiques et environnementales (*Meur Férec, 2008*). Dans cette perspective, les travaux de Gallopin (1991, 2006) et Corlay (1995) ont développé une approche systémique pour appréhender l'évolution et le fonctionnement des littoraux.

Les littoraux sont assimilés à des systèmes régis par des contraintes multiples, elles-mêmes organisées en deux sous-systèmes : l'écosystème renvoyant à un jeu de contraintes et de processus inhérents au milieu physique, et le socio-système composé des contraintes produites par les sociétés et participant à l'artificialisation de la frange littorale. Un certain nombre de travaux ont cherché à appréhender les conséquences de l'artificialisation du littoral sur son évolution géomorphologique. Ces travaux se sont par exemple intéressés aux effets des structures établies pour contrôler les mouvements du trait de côte (Schoonees, *et al.*, 2006, Lee et Ryu, 2008, Costa *et al.*, 2005, Chaibi et Sedrati, 2009), aux effets des infrastructures portuaires, industrielles ou touristiques (Henaff, 1995, El-Asmar et White, 2002, Costa et Davidson, 2004) ou encore aux effets des usages associés à la proximité du bord de mer (Anthony, 1997, Prinskin, 2003, Davenport et Davenport, 2006, Xue *et al.*, 2008, Defeo *et al.*, 2009). Ces différentes contraintes exercées sur le littoral interagissent avec la dynamique des systèmes côtiers et contribuent à modifier les paysages littoraux (Paskoff et Clus-Auby, 2007, Jabaloy-Sanchez, *et al.*, 2010).

Par ailleurs, les travaux de Paskoff (1985, 2007) soulignent l'importance des processus érosifs. Conduisant à un recul du trait de côte, ces derniers marquent actuellement l'évolution des systèmes côtiers aux échelles mondiale et régionale. Dans un contexte d'élévation régionale du niveau des mers, le suivi et l'analyse des variations de la position du trait de côte font l'objet de nombreuses études. Pour exemple, les études réalisées dans le cadre du programme européen CORINE Erosion Côtière (CEC) ont montré que plus de 23% du linéaire côtier breton est en érosion. Au sein du département du Morbihan, le pourcentage du trait de côte caractérisé par un mouvement de recul s'élève à près de 20% (IFEN, 2007). Cette étude a été réalisée à partir de données issues de la base Trait Côte EuroSION (2004) acquises au 1/100 000. En France, une étude réalisée en 2004 par le conservatoire du littoral estime que les espaces littoraux gérés par le conservatoire seront sujets à une augmentation moyenne du niveau des eaux d'environ 22 cm d'ici 2050 et 44 cm d'ici 2100 (Clus-Aubry *et al.*, 2006). En Bretagne, les données du marégraphe de Brest indiquent une augmentation annuelle moyenne du niveau des mers proche de 2.5mm/an depuis 1807 (IFEN, 2007).

La combinaison entre d'une part la forte croissance démographique des communes littorales, allant de pair avec le développement des activités résidentielles et touristiques et à une artificialisation croissante des systèmes côtiers, et d'autre part des mouvements de recul du trait de côte, dans un contexte d'élévation régionale du niveau des mers, contribue à produire « *des territoires à risques* », exposés de par leur situation sur le domaine littoral à des risques endémiques aux systèmes côtiers (Deboudt, 2010). La notion de risque est définie comme le produit entre un aléa et la vulnérabilité du territoire soumis à cet aléa (Robin, 2002a). Deboudt (2010) identifie trois principaux risques propres à la zone littorale : le risque d'érosion côtière, le risque de submersion intervenant sur différentes échelles spatio-temporelles et le risque de progression des dunes vers l'intérieur des terres.



La vulnérabilité renvoie aux conséquences prévisibles de l'occurrence d'un danger affectant l'ensemble des enjeux associés au fonctionnement d'un espace aménagé (Veyret et de Richemond, 2003).

Depuis les années 1950, le littoral Morbihannais enregistre une forte croissance démographique. Elle est supérieure à 130% entre 1962 et 2006 (INSEE, 2007). L'attractivité croissante de ces littoraux entraîne une anthropisation de l'espace littoral qui se traduit par la mise en place d'aménagements et d'infrastructures. Ces derniers sont associés à des usages touristiques, à une fréquentation accrue des bords de mer et une urbanisation croissante de l'arrière-pays. Bien qu'elles n'impliquent pas systématiquement une modification radicale des paysages littoraux, ces contraintes anthropiques sont susceptibles d'interagir avec l'évolution des formes littorales. Les travaux réalisés dans le Golfe du Morbihan (Pian, 2006, Pian et al., 2007) ont permis d'identifier les principales dynamiques qui contrôlent l'évolution de ce système côtier. Elles sont représentées par la figure i.2. Dans le Golfe du Morbihan, trois systèmes de contraintes, combinés les uns aux autres, concourent à expliquer l'évolution des formes littorales. Chacun d'eux est composé d'éléments anthropiques et naturels entre lesquels les interactions sont multiples. Ces interactions, représentées par les flèches et traits noirs (Figure i.2) contrôlent autant le comportement du système côtier que le fonctionnement des systèmes de contraintes qui régissent son évolution.

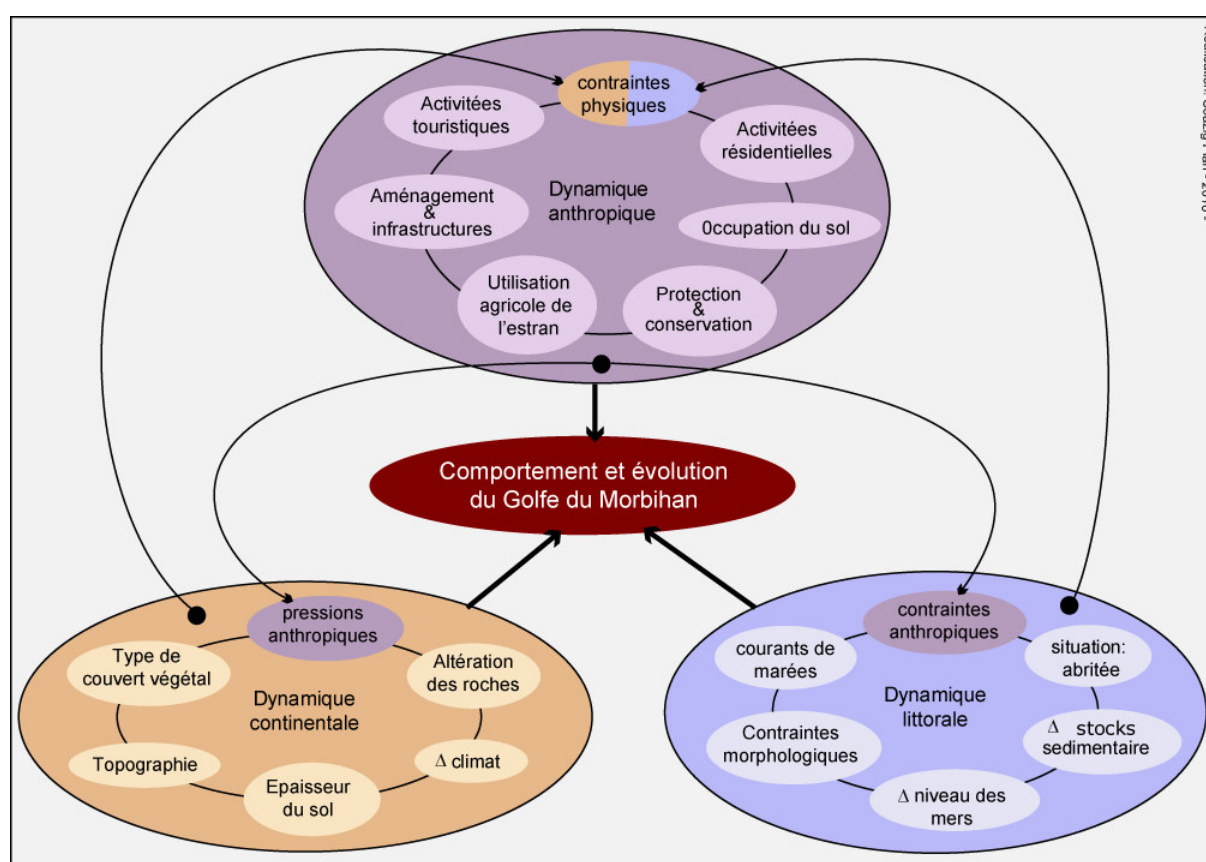


Figure i.2 : Représentation schématique des systèmes de contraintes contrôlant l'évolution du Golfe du Morbihan entre 1952 et 2004

Par ailleurs, les travaux pionniers de Guilcher (1948), Pinot (1974) et Vanney (1977) ont permis d'analyser, à l'échelle régionale, la géomorphologie des littoraux de Bretagne Sud et de cartographier les reliefs de la côte et de l'avant côte. Le littoral morbihannais est principalement constitué de falaises meubles de faibles altitudes, de cordons sableux et de vasières. Fortement anthropisé et constitué de côtes élaborées dans des matériaux meubles, le littoral morbihannais apparaît ainsi sensible aux risques d'érosion côtière, notamment dans un contexte d'élévation du niveau des mers (*Regnauld et al., 2005*).

## Problématique et objectifs

Les travaux effectués dans le cadre de ce doctorat ont cherché à caractériser et à analyser l'évolution du littoral morbihannais afin de discuter de sa vulnérabilité face au risque de recul du trait de côte. L'étude s'est focalisée sur l'analyse de son comportement géomorphologique de manière à localiser les espaces concernés par un recul du trait et à comprendre les dynamiques générant l'occurrence des processus érosifs. Afin de comprendre les mécanismes qui régulent l'évolution des littoraux en vue de leur aménagement, Cooper et Pontee (2006) préconisent le développement d'une approche multiscalaire permettant de mettre en relation la mobilité du paysage littoral avec la mobilité des formes et des processus littoraux agissant sur différentes échelles de temps et d'espace (Figure i.1). Dawson et al. (2010) soulignent l'importance de développer une analyse des risques, basée à l'échelle régionale et incluant des ensembles géomorphologiques cohérents, afin de prendre en compte les relations entre les différentes entités morphologiques qui composent les systèmes côtiers. Dans ce contexte, ces travaux ont cherché à développer une analyse multiscalaire et multifactorielle de l'évolution géomorphologique, entre 1952 et 2004, du littoral morbihannais. L'analyse s'est focalisée sur deux échelles spatio-temporelles, indiquées sur la figure i.1. A long et moyen termes, les variations du trait de côte ont été analysées, entre 1952 et 2004, au sein d'ensembles géomorphologiques cohérents pouvant être assimilés à des cellules sédimentaires. Le littoral a été divisé en cinq systèmes côtiers distincts, représentés sur la carte i.1. Au sein de chacun d'eux, l'analyse a cherché à identifier les principaux facteurs contrôlant la mobilité du trait de côte. L'ensemble des facteurs sur lesquels l'analyse s'est penchée renvoie à des contraintes naturelles, définies comme les contraintes physiques ou environnementales régulant l'évolution des systèmes côtiers, et à des contraintes anthropiques, renvoyant aux principales contraintes exercées sur la frange littorale par les formes actuelles de l'anthropisation des rivages. Cette analyse repose sur l'hypothèse que les interactions entre dynamiques continentales, littorales et anthropiques observées dans le Golfe du Morbihan contrôlent également le comportement géomorphologique des autres systèmes côtiers sud bretons. Sur le court terme, l'analyse a cherché à analyser les évolutions topographiques et les comportements morphodynamiques des plages sur un pas de temps annuel, entre 2008 et 2009.

A travers ces analyses, les travaux réalisés se sont concentrés sur trois objectifs:

- Synthétiser les connaissances concernant la géomorphologie des littoraux de Bretagne Sud,
- Analyser le comportement des systèmes côtiers sur le long terme en identifiant les facteurs naturels et anthropiques contrôlant leurs évolutions afin d'évaluer leur vulnérabilité,
- Analyser et discuter les comportements morphologiques et morphodynamiques des systèmes sableux afin de compléter l'analyse sur le long terme et de proposer un modèle conceptuel du fonctionnement de ces systèmes côtiers.

## La démarche méthodologique

Les recherches réalisées au sein de ce doctorat sont focalisées sur deux pas de temps différents. Il en résulte que la démarche méthodologique adoptée dans le cadre de ce travail repose sur deux approches adaptées à chacune des échelles spatio-temporelles étudiées.

Sur les long et moyen termes, l'analyse du comportement géomorphologique des cinq systèmes côtiers et l'identification des différents facteurs contrôlant les variations du trait de côte s'est appuyée sur l'utilisation de photographies aériennes et de données spatialisées intégrées dans une géodatabase. Plusieurs séries de photographies aériennes, datées entre 1952 et 2004, ont été utilisées.

A partir ces photos aériennes, les mouvements du trait de côte ont été appréhendés à l'échelle régionale en observant l'évolution des formes littorales composant chaque système côtier entre deux mêmes dates (*Carter 1999, Robin, 2002b*). Le recours aux fonctionnalités analytiques proposées par les SIG a permis d'explorer le caractère systémique du fonctionnement des littoraux Sud bretons à l'échelle régionale. Depuis les années 1980 et surtout 1990, les SIG sont de plus en plus utilisés pour analyser l'évolution et le fonctionnement des espaces côtiers (*Gourmelon et Robin, 2005, Robin et Gourmelon., 2005*) dans la mesure où ils favorisent l'étude des interactions contrôlant l'évolution des littoraux, en permettant l'analyse simultanée d'un nombre important de données spatiales. Ils offrent notamment la possibilité d'utiliser des techniques d'analyses de données multivariées, empruntant à l'analyse spatiale et la géostatistique. Les travaux développés dans le cadre de ce doctorat ont cherché à explorer les avantages d'une telle approche pour expliquer la répartition spatiale des processus de recul et d'avancée du trait de côte ; mais aussi pour identifier les contraintes naturelles et anthropiques contrôlant ces évolutions et analyser leurs interactions. Pour les systèmes côtiers majoritairement composés de formes d'accumulation sableuse, l'analyse a été complétée par une étude de l'évolution des plages sur le court terme.

A court terme, les analyses ont été essentiellement menées à partir de données acquises sur le terrain lors de campagnes de suivi topographique. L'analyse s'est intéressée aux variations saisonnières des profils de plages et des formes d'accumulation sédimentaire mises en place sur l'estran. Elle s'est ainsi concentrée sur une échelle sub-locale (mésos échelle – Figure i.1) et a cherché à caractériser, sur une échelle de temps annuelle, le comportement morphodynamique des plages de Bretagne Sud. Cette analyse a permis d'appréhender de manière semi-quantitative l'évolution des plages et d'identifier les types de séquence (érosion vs accrétion) dans lesquels s'inscrivent ces évolutions.

## Organisation de la thèse

Ce mémoire de doctorat est organisé en trois parties, reprenant chacune un des objectifs cités précédemment. La figure i.3 met en relation les différents objectifs poursuivis par ces travaux avec le plan des chapitres de ce mémoire de doctorat et précise la méthode développée au sein de chacune d'elle.

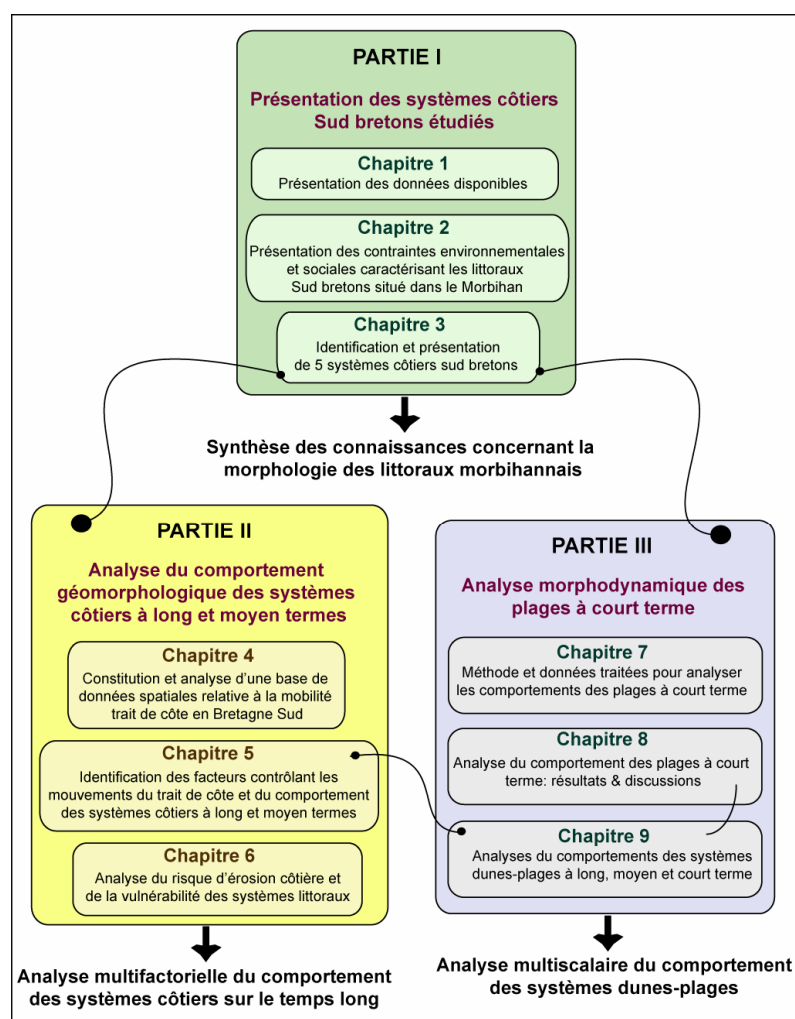


Figure i.3 : Représentation schématique de l'organisation des travaux réalisés dans le cadre de la thèse

La partie I de cette thèse présente les principales caractéristiques des littoraux Sud bretons situé sur le territoire du département du Morbihan. Cette partie est divisée en trois chapitres. Le chapitre 1 synthétise les données disponibles concernant ces littoraux. A partir de ces données, le chapitre 2 présente succinctement leurs différentes contraintes environnementales et sociales. Cette présentation aboutit, au sein du chapitre 3, à l'identification de cinq systèmes côtiers distincts sur lesquels sont concentrés les analyses menées au cours de ce travail.

La partie II de la thèse est consacrée à l'analyse, sur les long et moyen termes, du fonctionnement géomorphologique de ces cinq systèmes côtiers. Cette partie regroupe trois chapitres. Le chapitre 4 présente la méthode mise en place pour analyser les variations du trait de côte à l'échelle des systèmes côtiers. Les résultats sont analysés, discutés et synthétisés au sein du chapitre 5. A partir de ces résultats, le risque de recul du trait de côte et la vulnérabilité des systèmes côtiers face au risque d'érosion côtière sont discutés au sein du chapitre 6.

La partie III de la thèse s'intéresse au comportement morphodynamique des plages sur le court terme. Cette partie est divisée en trois chapitres. Le chapitre 7 présente la méthodologie et les données utilisées pour analyser l'évolution des plages sur un pas de temps annuel. Les résultats sont discutés au sein du chapitre 8. Enfin, le chapitre 9 synthétise les différents résultats obtenus afin de mettre en évidence les différents modes de fonctionnement marquant les systèmes dunes-plages à long, moyen et court termes.

## **PARTIE I : LE LITTORAL SUD BRETON : UN ESPACE LITTORAL ENTRE « NATURE » ET « SOCIÉTÉ »**

Le littoral étudié comprend quasiment l'ensemble des côtes morbihannaises comprises entre la pointe du Talut (Lorient), et l'estuaire de la Vilaine (Pénestin) - Golfe du Morbihan inclus - (carte i.1), et s'étend sur plus de 477 km de linéaire côtier<sup>1</sup>. La zone d'étude englobe ainsi un panel de différents types de côtes, caractérisés par des conditions diverses d'exposition aux houles et vents dominants, des formes littorales variées et des comportements géomorphologiques distincts. Afin d'analyser l'évolution géomorphologique de ces littoraux sur différents pas de temps, des secteurs, cohérents d'un point de vue géomorphologique, ont dû être identifiés et individualisés.

L'objectif de cette première partie est de présenter l'ensemble des données recueillies, traitées, analysées et synthétisées afin de dresser une présentation générale de cette portion des littoraux sud bretons et d'identifier les différents secteurs sur lesquels se sont focalisés, par la suite, l'analyse de leurs comportements.

Le premier chapitre s'emploie à présenter en détails les différentes bases de données utilisées au cours de ces travaux de thèse, et sur lesquelles repose les descriptions proposées au sein de cette partie. Ces données constituent des données de référence, sur lesquelles reposent en partie les traitements et analyses développés dans les parties suivantes de ce mémoire de doctorat. Le second chapitre présente une description générale des littoraux situés entre la pointe du Talut et l'estuaire de la Vilaine. Il a pour objectif de proposer une typologie des espaces côtiers qui composent la zone d'étude, ainsi que les contraintes géologiques, géomorphologiques, hydrodynamiques et météorologiques susceptibles de contrôler leurs évolutions sur les différents pas de temps étudiés. Enfin, le chapitre 3 propose une description détaillée des cinq principaux secteurs sur lesquels se sont focalisées les différentes analyses entreprises pour caractériser le fonctionnement géomorphologique des littoraux Sud bretons.

---

<sup>1</sup> Longueur du linéaire côtier obtenu à partir du fichier de forme *trait de côte* (TDC) produit par le SHOM (Tableau I.2), Golfe du Morbihan inclus et rias exclues.

## **CHAPITRE 1 : SYNTHÈSE DES DONNÉES DISPONIBLES ET UTILISÉES POUR ETUDIER LES LITTORAUX SUD BRETONS**

Ce premier chapitre s'emploie à présenter les différentes données utilisées pour décrire les littoraux de Bretagne Sud, et appréhender par la suite leurs évolutions. Ces données ne sont pas issues de chaînes de traitement d'analyses développées dans le cadre de ces travaux. Elles regroupent d'une part, les données produites par des organismes publics ou issues d'analyses menées dans des travaux antérieurs, et d'autre part les données numériques issues d'un travail de photo-interprétation effectuée dans le cadre de cette thèse, et validé par un travail terrain. Dans le cadre de cette première partie, elles sont utilisées pour décrire les littoraux étudiés. Elles seront également utilisées dans les parties suivantes, dans une perspective davantage analytique.

### **I. PRÉSENTATION DES BASES DE DONNÉES HYDRODYNAMIQUES ET MÉTÉOROLOGIQUES**

L'ensemble des données hydrodynamiques traitées dans le cadre de ces travaux est issu de bases de données gérées par les organismes publics suivants : le Centre d'Etudes Techniques Maritimes Et Fluviales (CETMEF), l'Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (Ifremer) et le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM). Ces bases de données regroupent soit des mesures *in situ*, soit des données de modèles.

#### **I.1. La base de données CANDHIS du CETMEF**

Le Centre d'Archivage National des Données de Houle In Situ (CANDHIS) est géré par le CETMEF depuis 1972. Il propose un archivage des données de houles mesurées *in situ* en temps réel à partir des bouées disposées en mer, ainsi qu'un ensemble de graphes mensuels et de données statistiques permettant de décrire la climatologie des houles au large des côtes françaises sur des pas de temps plus long. Parmi ces informations, un ensemble de corrélogrammes permet de décrire les caractéristiques des houles, sur le long terme, en prenant en compte l'ensemble des mesures effectuées au cours du temps pour une bouée donnée.

Afin de décrire le régime des houles prévalant au large des côtes de Bretagne Sud, ces travaux se sont intéressés aux corrélogrammes effectués entre la hauteur significative spectrale des vagues<sup>2</sup> et la période moyenne<sup>3</sup> pour des mesures réalisées à partir des trois bouées situées au large la zone d'étude. Ces corrélogrammes sont réalisés à partir de l'ensemble des données disponibles pour chaque bouée et couvrent ainsi différentes périodes. Trois bouées ont été identifiées : la bouée 04403 du Plateau du Four (47°14,37N – 2°47,22W), la bouée 04402 du Croisic (47°23,8N – 0°40,60W) et la bouée 08504 Ile d'Yeu Nord (46°49,99 N – 2°17,70W). Les résultats sont présentés dans le chapitre 2 de cette partie.

Par ailleurs, ces travaux de thèse se sont également intéressés aux données de houle *in situ* enregistrées en temps réel par les bouées 04403 (Plateau du Four) et 08503 (Ile d'Yeu Nord). Ces données constituent les seules mesures *in situ* disponibles pour notre secteur d'étude sur la période étudiée. Les données traitées sont essentiellement la hauteur significative des houles (HMO) et la période significative des houles (TH13D)<sup>4</sup>. Leur utilisation est discutée au sein de la partie III de ce mémoire de doctorat.

## I.2. La base de données PREVIMER d'IFREMER

PREVIMER est un système pré-opérationnel coordonné par l'Ifremer permettant de modéliser des données concernant l'environnement côtier dans plusieurs domaines : l'intensité et la direction des courants ; la hauteur, les fréquences et la direction des vagues ; les niveaux de la mer ; la température et la salinité de la mer et les productions primaires. Ce projet est mené en collaboration avec l'Union Européenne, le SHOM et Météo France.

Les données utilisées dans le cadre de ces travaux concernent essentiellement la hauteur et la direction des vagues. Depuis le 4 Juillet 2009, les paramètres des vagues sont obtenus à partir du modèle SHOM\_WW3-Loire qui est un modèle prédictif de propagation des houles utilisant le code de calcul WAVEWATCH III. Ce code calcule l'évolution de l'état de la mer en le décomposant en un spectre d'ondes se propageant dans différentes directions et avec différentes périodes.

<sup>2</sup>La hauteur significative spectrale des vagues (Hmo) correspond à la hauteur moyenne du tiers des vagues les plus hautes. Elle est obtenue à partir de la formule suivante où  $f_{\min}$  et  $f_{\max}$  sont à définir :  $Hmo = 4\sqrt{m_0} = 4\sqrt{\int_{f_{\min}}^{f_{\max}} E(F) df}$

<sup>3</sup> La période moyenne (TO2) correspond à la période moyenne du spectre, obtenue à partir de la formule :  $Tm_{02} = T_{02} = \sqrt{\frac{m_0}{m_2}} = \sqrt{\frac{\int_{f_{\min}}^{f_{\max}} E(F) df}{\int_{f_{\min}}^{f_{\max}} f^2 E(f) df}}$

<sup>4</sup> La période significative (TH13D) correspond à la période moyenne du tiers supérieurs des plus grandes vagues.



Le secteur d'étude est couvert par le modèle Loire. Entre Février 2008 et Juillet 2009, les paramètres des vagues sont calculés à partir d'un modèle REFDIF-SUBBZH, moins précis (Annexe A). Dans le cadre de ces travaux, ces données ont été utilisées pour décrire les conditions d'agitation au large et à la côte sur le court terme, durant les périodes concernées par le suivi topographique des plages (Partie III). Les fichiers de données obtenues sont en format netcdf. A partir de ces fichiers, les caractéristiques des houles à différentes dates et en différents points de la zone d'étude ont pu être extraites.

### **I.3. La base de données RONIM du SHOM**

Les données concernant les caractéristiques des marées sont issues des prédictions réalisées par le SHOM à l'aide du logiciel SHOMAR. Depuis 1992 et le lancement du projet RONIM, le SHOM utilise la méthode harmonique pour calculer les prédictions de marée, permettant de préciser les horaires des marées, les hauteurs d'eau à basse et haute mer et les coefficients de marée. Ces prédictions sont réalisées en parallèle d'un suivi de mesures in situ des hauteurs d'eau dans les principaux ports de référence français. Depuis 2007, les prédictions de marée effectuées par le SHOM sont accessibles gratuitement en ligne. Dans le cadre de ces travaux, ce sont ces données ont été utilisées pour plusieurs ports de référence, identifiés le long du linéaire côtier étudié : Lorient, Port Louis, Port Haliguen, Vannes et Pénérf. Pour chacun de ces ports, les hauteurs d'eau, les coefficients de marée et les horaires de marée ont été répertoriés sur l'ensemble de la période 2008-2009, de manière à caractériser le type de marnage des côtes étudiées et à traiter les données terrain, discutées au sein de la partie III de ce mémoire de doctorat.

### **I.4. Les données de METEO FRANCE**

Les données météorologiques traitées dans le cadre de ces travaux concernent la vitesse journalière moyenne et la direction journalière moyenne des vents au sémaphore du Talut, les états journaliers de circulation atmosphérique observés par METEO France et classés en fonction de la méthode Grosswetterlagen, et les fréquences moyennes annuelles des directions du vent à Belle-Ile entre 1981 et 1990.

La méthode de classification des types de circulation atmosphérique, utilisée sous le nom de Grosswetterlagen, a été discutée par James (2007). La méthode de James (2007) identifie 29 types de circulation atmosphériques permettant de caractériser 29 types de temps différents à l'échelle de l'Europe et de l'Océan Atlantique Nord-Ouest.

A la suite des travaux réalisés au sein du laboratoire COSTEL (*Dudouit-Fichet et al., 2009 ; Planchon et al., 2009*), reposant sur l'utilisation de cette méthode, cette classification a été utilisée, dans le cadre de cette thèse, pour déterminer l'occurrence des types de temps les plus fréquents ayant caractérisé la période d'analyse des données morphologiques et météorologiques sur le court (2008 – 2009). Les 29 types de circulation atmosphérique ont été regroupés en quatre classes correspondant à des circulations d'Ouest, Sud, Nord-Nord-Ouest et Est-Nord-Est.

Les données de vent utilisées correspondent aux enregistrements effectués par METEO France au sémaphore du Talut à Belle-Ile, entre Janvier 2008 et Juin 2009. Cette station est située au large des côtes étudiées, mais l'utilisation de ces données est justifiée par le fait que les stations situées sur la zone côtière, à l'exception de celle de Lorient, et plus partiellement de celle de Quiberon, ne disposent pas d'enregistrements couvrant l'ensemble de la période étudiée. Pour exemple, les stations localisées sur les communes de Port-Louis, Carnac, Vannes, Saint Gildas de Rhys ou Sarzeau ont cessé leurs enregistrements entre Décembre 1959 et Mai 2008, selon les stations.

## II. ACQUISITION DES DONNEES DECRIVANT LA MORPHOLOGIE DU LITTORAL

Les données concernant la morphologie du trait de côte ont été obtenues par photo-interprétation, à partir de l'orthophotographie 2000, disponible en format ecw, et des dalles de l'orthophotographie 2004, produites par l'IGN, et disponibles en format TIFF. Ces orthophotographies sont projetées en Lambert II étendu et leur résolution est de 50 cm. Ce travail a été systématiquement validé ou corrigé à partir d'observations terrain, recueillies et stockées dans des fiches terrain (Figure I.1 – Figure I.2).

### II.1. Acquisition des données par photo-interprétation et observations terrain

Les différentes formes composant le trait de côte le long du linéaire côtier ont été identifiées par photo-interprétation en analysant visuellement leur texture, leur structure et leur teinte.

La description du littoral obtenue à partir de l'analyse visuelle des orthophotographies a été validée sur le terrain à l'aide de fiches terrain (Figure I.1 et Figure I.2), contenant un extrait de l'orthophotographie 2000 et du Scan 25 couvrant le secteur étudié, ainsi que la description géomorphologique du site obtenue par photo-interprétation. A partir de ces fiches terrain, un catalogue de formes mettant en correspondance la réalité terrain avec son aspect visuel présenté sur les clichés aériens a ainsi pu être réalisé. Le tableau I.1 présente le nombre de fiches terrain ainsi établies pour différentes portions du linéaire côtier étudié.

Le Golfe du Morbihan compte parmi les secteurs pour lesquels un nombre plus élevé de fiches a été réalisé, en raison des plus grandes difficultés associées à l'exercice de photo-interprétation dans cet espace. En effet, une partie de l'estran est souvent couverte par l'ombre portée des arbres qui jalonnent le sommet des petites falaises. De plus, les dénivelés sont peu importants, accentuant les confusions entre la végétation de l'estran et celle du sommet des falaises. Au total, entre Octobre 2005 et Décembre 2007, 148 sites ont été visités, à marée basse, à raison d'environ 5 à 6 sites par jour. Ce travail a ainsi représenté près d'une trentaine de journées terrain, dont deux ont pu être effectuées en bateau, dans le Golfe du Morbihan, en Juin 2006 et Juillet 2009.

Suivant la classification établie par Joly (1997), cinq types d'entités morphologiques ont été identifiés le long des côtes bretonnes : les falaises, les plages, les dunes, les schorres et les vasières. Au sein des vasières, deux types de formes ont été différenciées : le schorre et la slikke. Pour les falaises, l'ensemble des observations terrain a été synthétisé afin de proposer une typologie permettant de classer les falaises en fonction de quatre types principaux. De la même façon, les observations terrain effectuées sur les dunes ont permis de distinguer différents types de contact dune/plage discutés dans la littérature (*Hesp, 2002*). Ces typologies sont discutées au sein des sections suivantes.

Concernant les plages, une description plus détaillée de leur profil est proposée dans la Partie III de ce mémoire de doctorat.

<b>Localisation des sites visités</b>	<b>Nombre de sites pour lesquels une fiche de validation terrain a été établie</b>
Lorient – Penthièvre	24
Penthièvre – Pointe du Conguel	9
Baie de Quiberon	27
Golfe du Morbihan	46 (+ 17 fiches établies en 2005 – 2006 dans le cadre du mémoire de recherche de Master 2)
Presqu'île de Rhuys	25
<b>TOTAL</b>	<b>148</b>

*Tableau I.1.: Synthèse du nombre de fiches de validation terrain utilisées pour différentes portions du littoral étudié.*

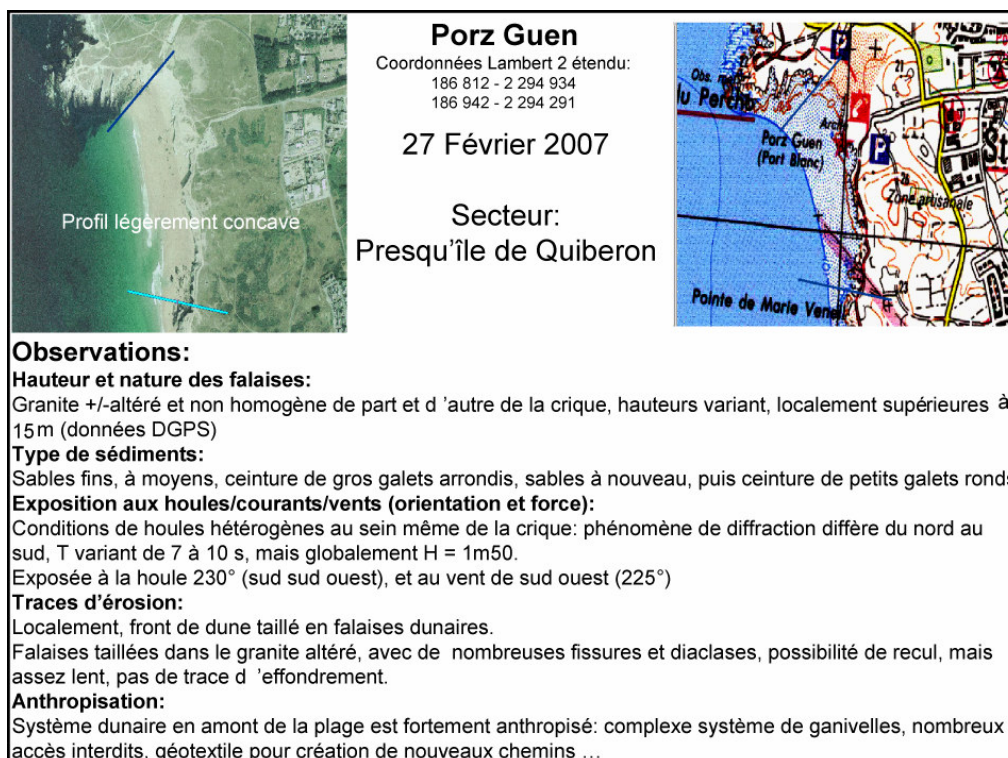


Figure I.1: Exemple d'une fiche de validation terrain concernant la presqu'île de Quiberon



Figure I.2: Exemple d'une fiche de validation terrain concernant le Golfe du Morbihan

## II.2. Typologie des côtes à falaise

Sur le terrain, les secteurs à falaise ont fait l'objet d'un protocole d'observations et de mesures particulières ayant pour objectif de dresser un inventaire des types de falaises rencontrées en Bretagne Sud. Au cours de l'année 2007, les observations *in situ* ont été effectuées de manière à :

- Mesurer la hauteur des falaises,
- Identifier le type de roche constituant la falaise,
- Mesurer l'épaisseur de l'horizon d'altération lorsqu'il est existant,
- Mesurer l'épaisseur du sol lorsqu'il est existant,
- Identifier le type de couvert végétal.

La hauteur des falaises a été estimée à l'aide d'un DGPS Trimble ayant une erreur maximale en z inférieure à 15 cm. L'épaisseur de la roche mère, de l'horizon d'altération et du sol a été estimée à l'aide d'une mire.

A partir de ces données, les falaises ont été classées en différentes catégories permettant de prendre en compte les spécificités du domaine littoral Sud breton. La classification adoptée s'inspire des travaux de Emery et Kuln (1982) qui proposent une classification des types de falaises basée sur l'importance relative des processus d'abrasion maritimes et subaériens, et sur leurs liens avec la structure géologique et lithologique de la falaise. A chaque type de falaise correspond un type de structure géologique et lithologique, d'une part, mais aussi un type de processus dominant le recul des falaises, d'autre part. Au total quatre types de falaises ont été identifiés (Figure I.3):

Type 1: Les micros falaises, correspondant à des talus inférieurs à 1m, élaborées dans des matériaux totalement altérés ou des formations type schorre (*Bird, 2000*). Ce type de falaise est surtout représenté dans le Golfe du Morbihan. Leur recul résulte de l'action des courants de marée et/ou des processus d'érosion subaériens.

Type 2: Les petites falaises meubles correspondant à des falaises souvent de faible amplitude (< 4/5m), caractérisées par un horizon d'altération dont l'épaisseur est supérieure au moins à la moitié de la falaise. L'horizon d'altération repose souvent sur des roches granitiques ou métamorphiques, qui lorsqu'elles sont affleurantes sont fortement fracturées et diaclasées. Souvent localisé dans des espaces abrités, ce type de falaise recule sous l'action des facteurs de l'érosion subaérienne, et plus exceptionnellement sous l'action des vagues de tempête.



Type 3: Les grandes falaises meubles dont la hauteur entre la base et le sommet est comprise entre 5 et 10 m au maximum et qui sont caractérisées par des horizons d'altération dont l'épaisseur est égale au moins au tiers de la falaise. L'horizon d'altération repose également sur des roches granitiques et métamorphiques fracturées et diaclasées (Type 3a). Parfois, elles sont prolongées vers le large par un platier rocheux (Type 3b). Ce type de falaise se rencontre aussi bien dans les espaces abrités (entrée du Golfe du Morbihan) que dans des secteurs exposés à l'action érosive des vagues (Nord de la Presqu'île de Quiberon). Le recul du sommet des falaises est souvent dominé par des processus d'érosion gravitaire, mais le rôle des agents d'abrasion marine n'est pas négligeable.

Type 4: Les falaises dures correspondant à des falaises de plus grande altitude, pour lesquelles l'horizon d'altération est peu important. En Bretagne Sud, ce type de falaise est localisé dans des espaces fortement exposés aux houles océaniques, comme par exemple sur la Presqu'île de Quiberon. Le recul de ces falaises est par conséquent contrôlé par l'action combinée des agents de l'érosion gravitaire et maritime. Ces falaises reposent sur des roches granitiques ou métamorphiques dont l'horizon supérieur contient de nombreuses fractures ou diaclases et correspondent aux catégories a et b proposées par Claytone et Shamonn (1998).

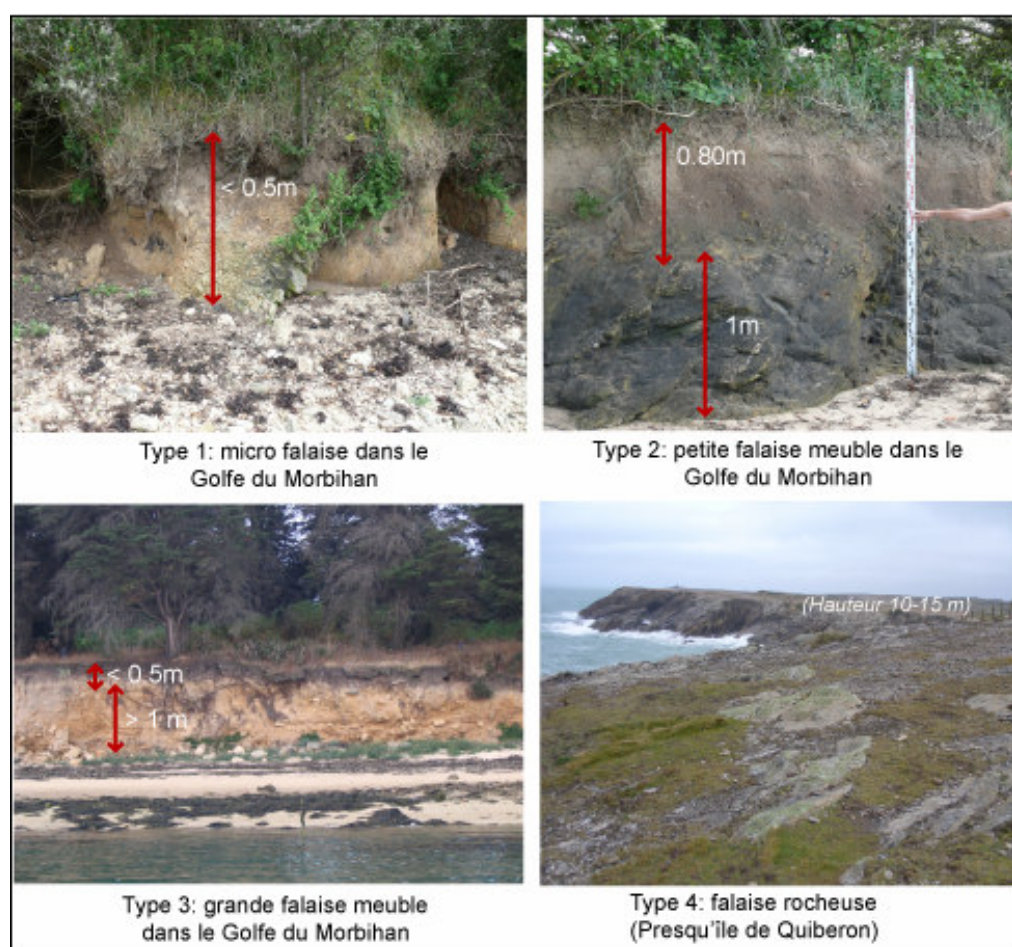


Figure I.3: Photographies des différents types de falaise

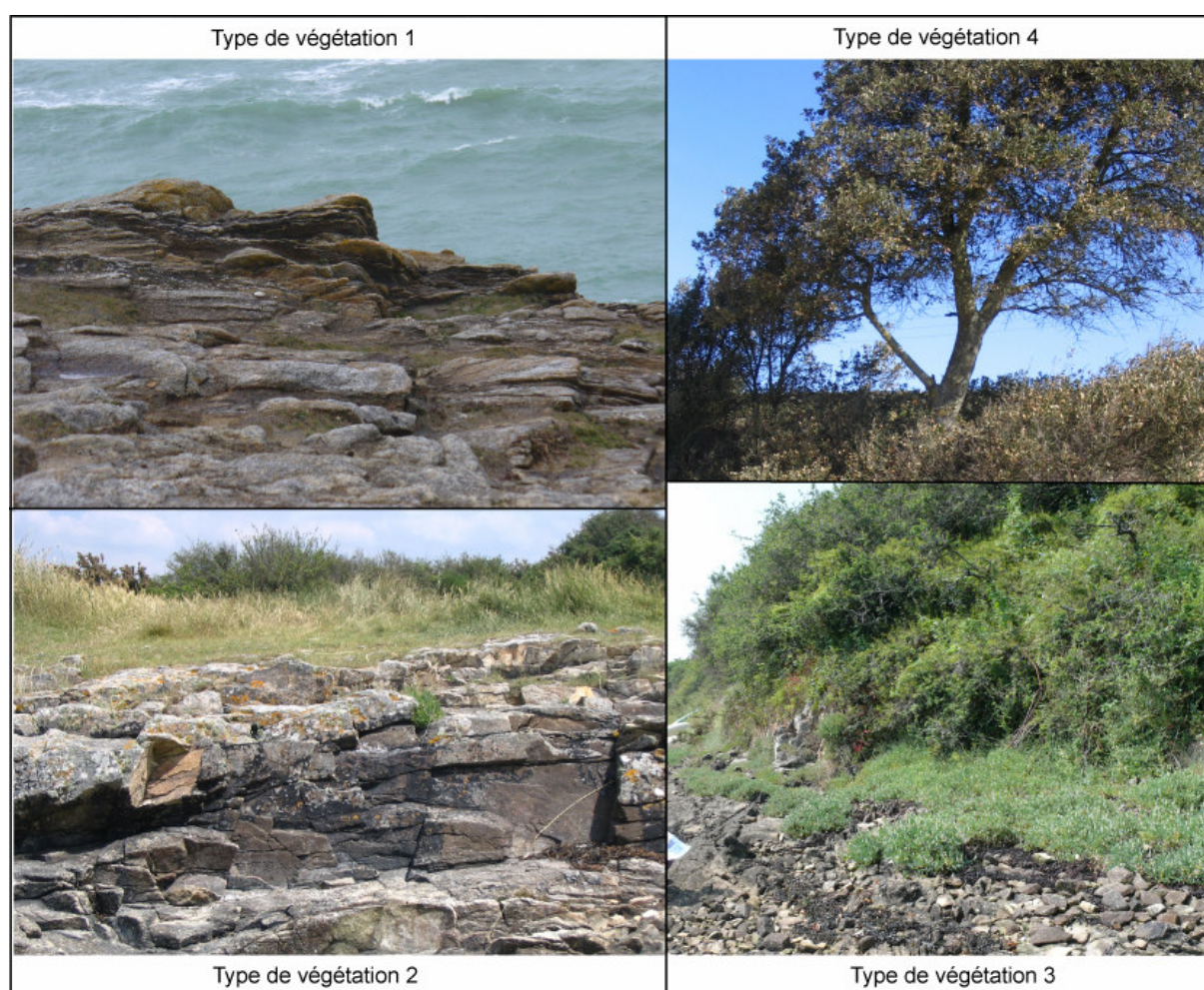
Ces campagnes terrain, couplées à un exercice de photo-interprétation ont également permis d'identifier quatre types de couvert végétal présents sur le sommet des falaises (Figure I.4):

Type 1 : Le premier type renvoie aux falaises dépourvues de formation pédogénique, où la roche est nue et sur lesquelles le couvert végétal est inexistant ou fortement parsemé.

Type 2 : Le deuxième type renvoie aux formations basses de type herbacé et correspond globalement aux divers types de pelouses maritimes susceptibles d'être observés aux moyennes latitudes.

Type 3 : Le troisième type correspond aux formations végétales de type buissonnant ou arbustif.

Type 4 : Le quatrième type est constitué de formations arborées. Il est essentiellement bien représenté dans le Golfe du Morbihan où les espèces les plus souvent rencontrées sont les pins maritimes et les cyprès. Ces arbres sont souvent situés sur les bordures des propriétés privées où ils s'apparentent à des arbres ornementaux.



*Figure I.4 : Photographie des différents types de végétation établis sur le sommet des falaises*

### II.3. Typologie des contacts dunes-plages

De manière à caractériser les types de contacts dunes-plages observés au sein des systèmes de cordons sableux, des journées terrain ont été consacrées à l'observation et la classification des fronts dunaires. Au cours de ces journées, le versant externe des dunes bordières, orienté vers la mer, a été photographié et leur hauteur a été mesurée à l'aide de la mire du théodolite. Les clichés obtenus ont ensuite été comparés site par site aux vues aériennes disponibles à partir de l'orthophotographie 2004. A partir de ces observations, six types de contacts dunes-plages ont été répertoriés en Bretagne Sud.

La typologie établie s'inspire de la classification réalisée et discutée par Hesp (2002). Cette classification propose une synthèse des différentes classifications (*Hesp, 1988, Saunders et Davidson-Arnott, 1990, Arens et Wiersma, 1994, Carter, 1999*) établies pour décrire les types de dunes bordières en fonction des processus qui contrôlent leur mise en place et leur évolution. Les travaux de Hesp (1988) et Carter (1999) mettent en évidence que la morphologie des dunes est fortement contrainte par la densité de la couverture végétale et le type d'espèces dominantes. La morphologie de la plage (*Short et Hesp, 1982*), les rythmes et l'abondance des apports sédimentaires (*Arens et Wiersma 1994*) et l'action érosive des vagues de tempête en haut de plage combinée aux processus d'*overwash* (*Saunders et Davidson-Arnott, 1990*) contribuent également à définir les formes et l'évolution de dunes bordières. Sur les côtes macro tidales, l'action érosive des tempêtes sur le front dunaire dépend moins de la vitesse des vents occasionnant la tempête que de la durée et de la direction de ces vents ainsi que du niveau d'eau associé à la marée (*Ruz et al., 2009*). Le modèle de Hesp (2002) décrit cinq types dunes bordières (Figure I.5). Ils sont définis en fonction de la morphologie des dunes et du couvert végétal, tout prenant en compte le caractère évolutif des dunes (*Ruz, 2004*). En effet, les différents types de dunes correspondent à cinq phases s'inscrivant dans des séquences évolutives dominées soit par des processus d'érosion, soit par des processus d'accrétion. L'état 1 est situé en amont de la séquence d'érosion et l'état 5 en aval. Il correspond aux formes les plus érodées. Les dunes associées à chacun de ces états peuvent soit se maintenir dans une forme plus ou moins stable, soit évoluer d'un état à l'autre, entre les états 1 et 5 pour les séquences d'érosion, ou entre les états 5 et 3 pour les séquences d'accrétion. Par ailleurs, chacun de ces états peut être érodé par l'action des vagues en haut de plage et remodelé par l'action des processus d'*overwash*, sur le court terme.

L'ensemble des observations réalisées sur les systèmes de cordon sableux en Bretagne Sud a permis de mettre en évidence que les types de front dunaire rencontrés le long du littoral appartiennent aux types 1 et 2 de la classification de Hesp (2002) (Figure I.5).

Des formes d'érosion liées à l'action des vagues en haut de plage sont également observées : sur certaines plages le front dunaire est taillé en falaise dunaire.



De plus, la hauteur des dunes varie fortement le long du littoral étudié, entre des altitudes inférieures à 0.5m ou supérieures à 2m. Afin de prendre en compte ces disparités, les différents types hérités de la classification de Hesp (2002) ont été subdivisés en fonction de la hauteur de la dune bordière.

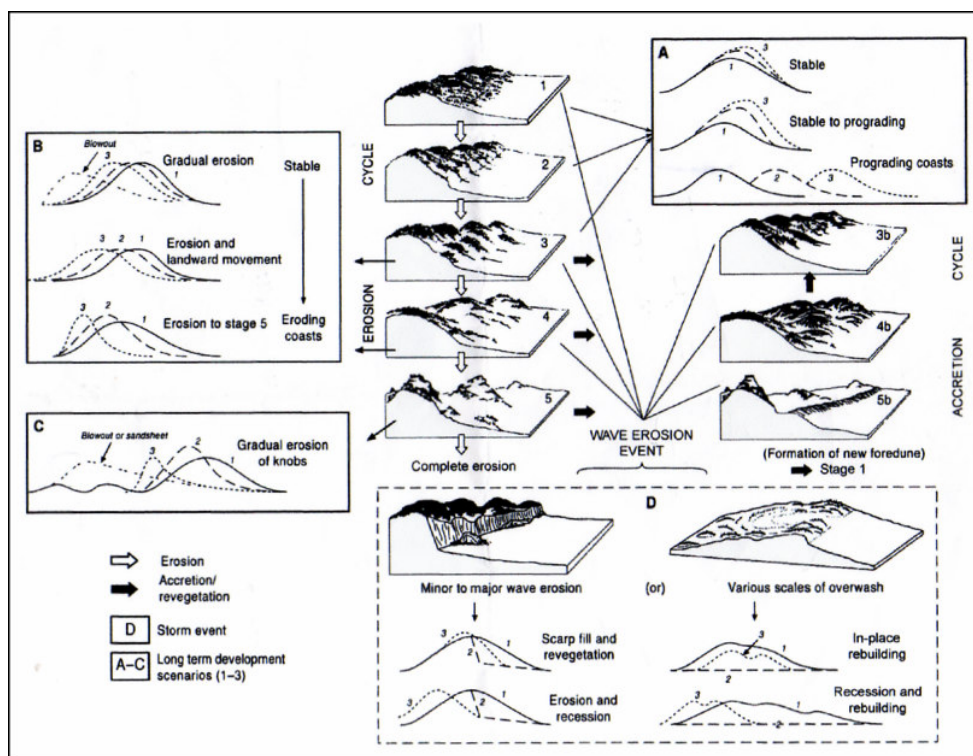


Figure I.5 : Classification des types de dunes établie par Hesp (2002), in Hesp (2002), *Geomorphology* (48), 245-268

Au total, six types de contacts dunes-plages ont été identifiés le long du littoral Sud breton (Figure I.6):

Type 1a : Le type 1a correspond au type 1 de la classification de Hesp (2002). Le contact dune-plage s'effectue à travers une pente relativement douce, densément couverte d'une végétation dunaire, type *amophilia arenaria*. L'altitude du versant externe de la dune bordière est inférieure à 1m : Souvent comprise entre 0.5m et 1m, elle peut atteindre des valeurs inférieures à 0.5m.

Type 1b : Le type 1b diffère du type 1a uniquement par la hauteur de la dune bordière, supérieure à 1m et généralement comprise entre 1m et 2m.

Type 2a : Le type 2a correspond au type 2 de la classification de Hesp (2002). Le contact dune-plage est marqué par une pente plus prononcée que pour les contacts de type 1a et 1b. Le couvert végétal est moins dense. On observe la présence de quelques brèches d'origine éolienne ou anthropique où le couvert végétal est inexistant. Il est associé à des hauteurs de dunes bordières inférieures à 1m.

Type 2b : Le contact dune-plage présente la même morphologie que celle décrite par le type 2a, excepté qu'il s'applique à des dunes bordières caractérisées par des hauteurs supérieures à 1m.

Type 3 : Le type 3 correspond à des formes d'érosion. Le front dunaire est taillé en falaise dunaire, caractérisée par une hauteur supérieure à 0.50m et pouvant atteindre plus de 2m.

Type 4 : Le type 4 correspond à une forme d'érosion semblable à celle décrite par le type 3, mais il s'applique à des front dunaire dont la hauteur est inférieure à 0.50m sans pour autant que des traces d'*overwash* soient visibles sur le terrain ou sur les photographies aériennes. Il est rencontré au sein des massifs dunaires caractérisés par ailleurs par des contacts dune-plage de type 1b ou 2b, où l'altitude des dunes bordières est très peu importante.

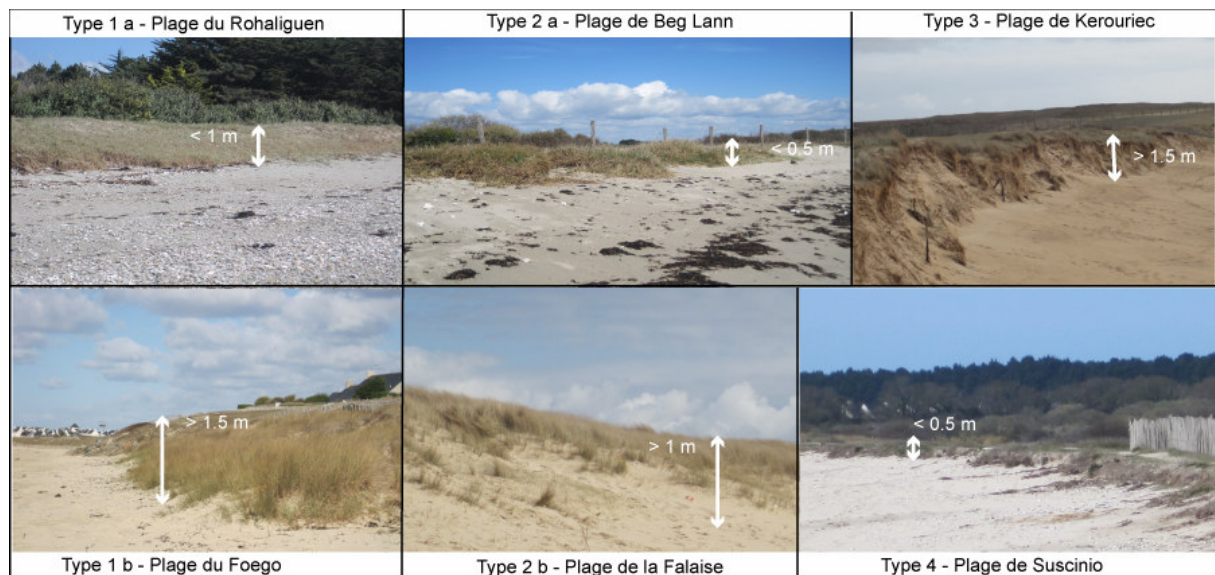


Figure I.6 : Typologie des contacts dunes-plages observés en Bretagne Sud

### III. PRESENTATION DES DONNEES NUMERIQUES ET SPATIALES

De manière à cartographier la géomorphologie du littoral, un ensemble de données a été utilisé concernant la couverture sédimentaire des fonds et des petits fonds, la bathymétrie, la morphologie et l'orientation de la côte. Ces données sont issues soit du travail de photo-interprétation précédemment présenté, soit de bases de données existantes. Toutes ces données sont spatialisées, disponibles en format vectoriel, numérisé à partir d'images raster (cartes ou orthophotographie) projetées en Lambert II étendu. Leurs caractéristiques sont synthétisées dans le tableau I.2.

#### III.1. Les données sédimentaires et bathymétriques

Les données concernant la couverture sédimentaire des fonds et des petits fonds ainsi que la bathymétrie proviennent de travaux antérieurs menés à l'Université de Bretagne Sud et au SHOM. Leurs caractéristiques sont décrites dans le tableau I.2.

Les données bathymétriques sont issues des cartes marines du SHOM, 7139L à 7144L, qui couvrent l'ensemble du secteur étudié à des échelles variant entre 1/10 000, 1/15 000 et 1/20 000. Elles sont représentées sous forme d'isobathes, cartographiées avec un intervalle de 5m, et pouvant prendre les valeurs comprises entre 0 et -40m.

Les données concernant la couverture sédimentaire de l'avant côte sont issues d'un travail de synthèse effectué par David Menier (2004). Ce travail a consisté à numériser la cartographie de la couverture sédimentaire des fonds et des petits fonds réalisée par Pinot (1974) et Chassé et Glémarec (1976) sur un fichier de forme nommé *Couverture sédimentaire Bretagne Sud*. Dans la table attributaire, le champ thématique qui décrit la nature sédimentologique des fonds peut prendre trois valeurs : graviers, sables et vases. Ces données sédimentaires ont été complétées par des données du SHOM décrivant la répartition spatiale des zones de roche. Ces données sont enregistrées sur une couche nommée *Roches Sud Bretagne*.

#### III.2. Morphologie et orientation du trait de côte

Les formes littorales et l'orientation du trait de côte ont été numérisées en mode vectoriel à partir des dalles de l'orthophotographie 2004 produites par l'IGN.

Les formes littorales ont été numérisées sous forme de polygones et enregistrées sur un fichier de forme nommé *morphologie Bretagne Sud*.

Ces formes littorales peuvent prendre les valeurs suivantes dans la table attributaire : falaise, plage, slikkle, schorre, dune, zone humide, bois et champs et végétation continentale. Les trois premières valeurs permettent de décrire la morphologie de l'estran. Les suivantes décrivent la morphologie de l'arrière côte. Lorsque l'arrière côte est occupée par des surfaces artificialisées, ces dernières ont été numérisées à partir de l'orthophotographie 2004 sous forme de polygones et enregistrées sur un fichier de forme nommé *surface artificielle*.

Pour les espaces occupés par des falaises, deux autres fichiers de forme ont été créés pour décrire le type de falaise d'une part, et le type de végétation couvrant le sommet des falaises d'autre part. Le type de falaise et le type de végétation ont été numérisés sous forme de polygones à partir des dalles de l'orthophotographie 2004. Les attributs associés aux entités spatiales correspondent aux quatre types de falaise et de végétation identifiés à partir des observations terrain.

L'orientation du trait de côte a été numérisée sous forme de polygones à partir des dalles de l'orthophotographie 2004. Un fichier de forme a été créé pour chaque système côtier présenté et discuté dans les chapitres suivants. L'échelle à laquelle a été effectuée la numérisation varie pour chacun de ces systèmes côtiers. Elle a été choisie de manière à prendre en compte les différences locales d'exposition du trait de côte induites par la sinuosité du trait de côte au sein de chacun des secteurs étudiés. Pour chacun d'eux, elle est indiquée dans le tableau I.2. Deux types de données attributaires sont associés aux polygones : une donnée décrivant l'orientation du trait de côte, et une donnée décrivant la situation abritée ou exposée du polygone, à l'échelle choisie pour les numériser.

Nom de la couche	Date de création	Système de projection	Etendue Géographique				Echelle/ Résolution	Type de représentation spatiale	Type d'entité spatiale	Nombre d'objets	Champs attributaires thématiques*	Source/ Généalogie
			Ouest	Sud	Est	Nord						
Ortholittorale 2000	2000	Lambert II Etendu	158000 m	2297000 m	249000 m	2328000 m	50 cm	Raster	-	-	-	GeoLittoral/ IGN
Orthophotographie 2004	2004	Lambert II Etendu	160000 m	2288000 m	224000 m	2322000 m	50 cm	Raster	-	-	-	IGN
Couverture sédimentaire Bretagne Sud	2003	Lambert II Etendu	53486 m	2147127 m	285097 m	2404022 m	1: 100 000	Vecteur	Polygones	2798	Gravier, sable, vase	Chassé/Glénarec (1976)
Roches Bretagne Sud	2003	Lambert II Etendu	52844 m	2262046 m	240143 m	2367509 m	1: 100 001	Vecteur	Polygones	2186	Roches	SHOM
Baïthy Plateau Bretagne Sud	1999	Lambert II Etendu	3347 m	1984113 m	345979 m	2425005 m	1: 5 000 à 1: 20 000	Vecteur	Polygones	1568	Altitude	SHOM
TDC	2006	Lambert II Etendu	46738 m	1617371 m	1197883 m	2677405 m	-	Vecteur	Polygones	15771	Année, Source	SHOM
Morphologie Bretagne Sud	2007	Lambert II Etendu	172649 m	2284997 m	237121 m	2317197 m	1: 50 000	Vecteur	Polygones	224	Falaise, dune, plage, slikke, schorre, platier, zone humide, bois, champs, veg continentale	Costel
Orientation Gâvres-Penthièvre	2007	Lambert II Etendu	165016 m	2297008 m	188543 m	2317564 m	1: 2 000	Vecteur	Polygones	42	Champs orientation: W, NW, SW, S, SE/ champs situation: abrité, exposé	Costel
Orientation Presqu'île de Quiberon	2007	Lambert II Etendu	186257 m	2288319 m	192042 m	2297088 m	1: 10 000	Vecteur	Polygones	37	Champs orientation: N.W, S.E, NW, SW, SE, NE/ champs situation: abrité, exposé	Costel
Orientation Baie de Quiberon	2007	Lambert II Etendu	188278 m	2288319 m	212252 m	2303262 m	1: 10 000	Vecteur	Polygones	140	Champs orientation: N.W, S.E, NW, SW, SE, NE/ champs situation: abrité, exposé	Costel
Orientation Presqu'île de Rhuys	2007	Lambert II Etendu	211988 m	2288414 m	222554 m	2291247 m	1: 15 000	Vecteur	Polygones	10	Champs orientation: S, SW, SE/ champs situation: abrité, exposé	Costel
Type falaises Bretagne Sud	2007	Lambert II Etendu	186249 m	2288359 m	220642 m	2306594 m	1: 50 000	Vecteur	Polygones	234	Type 1, Type 2, Type 3, Type 4	Costel
Type de végétation falaise Bretagne Sud	2007	Lambert II Etendu	186269 m	2288345 m	192104 m	2296369 m	1: 50 000	Vecteur	Polygones	1064	Type 1, Type 2, Type 3, Type 5	Costel
Trait de côte artificiel 2004	2007	Lambert II Etendu	172652 m	2315551 m	244744 m	2289174 m	1: 50 000	Vecteur	Polygones	870	linéaire artificielisé	Costel
Surface artificielle 2004	2007	Lambert II Etendu	172652 m	2315551 m	244744 m	2289174 m	1: 50 000	Vecteur	Polygones	320	Parking, surfaces urbanisées	Costel

Tableau I.2 : Métadonnées des données spatiales de référence

### Synthèse générale du chapitre 1

Afin d'appréhender l'étendue de l'espace littoral étudié dans son ensemble, les travaux réalisés dans le cadre de ce doctorat se sont appuyés sur un certain nombre de données de référence concernant tant les contraintes hydrodynamiques, météorologiques que les contraintes morphologiques et géomorphologiques définissant les paysages littoraux. Les données décrivant les conditions hydrodynamiques et météorologiques sont issues des bases de données gérées par les organismes publics. Les données concernant la morphologie de la côte et de l'avant côte sont issues de travaux antérieurs et d'un exercice de photo-interprétation, validé et complété par des observations terrain. Ces données ont été numérisées et spatialisées. Dans un premier temps, elles ont été utilisées dans un but essentiellement descriptif pour présenter la géomorphologie du système côtier Sud breton et identifier différents secteurs, cohérents d'un point de vue géomorphologique. Ces deux aspects sont développés au sein de cette première partie, dans les deux chapitres suivants. Par la suite, ces données ont également été exploitées dans une perspective plus analytique et intégrées aux traitements développés dans la partie de 2 de ce mémoire de thèse pour appréhender l'évolution du littoral sur les long et moyen termes.

## CHAPITRE 2 : PRESENTATION GENERALE DU LITTORAL SUD BRETON

Ce second chapitre a pour objectif d'établir une première description, à l'échelle régionale, des formes littorales qui composent les côtes de Bretagne Sud. Cette description repose sur une synthèse des données discutées au sein du chapitre 1 et des documents ou informations fournis par la littérature scientifique. Elle permet ainsi de proposer un état de l'art des connaissances concernant l'évolution ou le fonctionnement géomorphologique du littoral en Bretagne Sud. Cette description générale est complétée par une présentation des différents types de contraintes, naturelles et anthropiques, qui participent au façonnement des paysages littoraux.

### I. LES CONTRAINTES HYDRODYNAMIQUES

Cette section s'attache à décrire le régime météo marin auquel est soumis le littoral Sud breton, à l'échelle du Morbihan.

#### I.1. Le régime des vents

##### I.1.1. Situation générale

Situé sur la côte Sud de la Bretagne, le littoral étudié est soumis à un climat tempéré océanique, caractérisé par une forte fréquence des dépressions en provenance de l'Ouest. Les vents forts proviennent de situations dépressionnaires qui génèrent la plupart du temps des vents de secteur Sud-Est, Sud, Nord-Ouest et Ouest. Les vents de Nord-Ouest sont générés par la présence d'un noyau de hautes pressions localisées au Sud de l'Espagne ou du Maroc et d'une dépression dans l'Atlantique Nord, à proximité des îles Britanniques ou de la Manche (*Pirazzoli et al., 2004*). A l'inverse, les vents de secteur Est correspondent à des situations anticycloniques.

Par ailleurs, les vents à la côte sont caractérisés par une forte variabilité saisonnière. Les données Météo France, issues d'un travail d'analyse du SHOM, mettent ainsi en évidence qu'au sémaphore du Talut à Belle île, les vents forts à très forts (Force 6 et plus) sont fréquents d'Octobre à Mars et proviennent majoritairement du Nord-Ouest et de l'Ouest. Durant cette période, les observations réalisées au sémaphore du Beg-Melen, à Groix, permettent d'affirmer que ces vents proviennent plutôt du Nord-Ouest et du Sud-Ouest. D'Avril à Septembre les vents plus modérés (force 3 à 5) prédominent plus largement (*Safège, 2008*).

### I.1.2. Evolution générale des vents sur le long terme

Les travaux de Pirazzoli et al., (2000, 2004) présentent une synthèse récente de l'évolution du régime des vents affectant le littoral Breton depuis la fin XIX<sup>ème</sup> siècle. De manière générale, entre 1894 et 1913, les auteurs ont mis en évidence une diminution de la fréquence des vents d'Est et une augmentation des vents de Sud, Ouest et surtout Nord-Ouest. Sur la période suivante, il est plus difficile d'identifier des tendances claires, et les évolutions sont contrastées de part et d'autre des années 1970-1975. A Belle-île, jusqu'aux années 1975, la fréquence des vents de secteur Nord tend à augmenter, puis diminue ensuite alors que la fréquence des vents de secteur Est semble augmenter à partir de cette même date. De plus, les tempêtes caractérisées par des vents forts semblent de plus en plus fréquentes et se rencontrent à des intervalles de plus en plus courts.

Ce dernier point semble en concordance avec les observations de Lemasson (1999) qui témoignent d'une augmentation de la fréquence des vents dans l'Ouest de la Bretagne après les années 70. A partir de l'analyse des données du sémaphore du Talut (Belle Ile), la valeur moyenne annuelle sur 30 ans des vitesses du vent (Figure I.7) a été établie à 6.29m/s, entre 1961 et 1990, (Lemasson, 1999). Les vents dominants sont orientés Ouest. Les vents forts (> 20m/s) proviennent majoritairement d'un quart Nord-Ouest – Sud-Ouest (220°-320°), et plus particulièrement du Nord-Ouest (300°-330°) et de l'Ouest (260°-280°). Entre 1961 et 1990, ce seuil est dépassé en moyenne un jour par an à Belle-île. 61% de ces vents sont observés pendant la période hivernale.

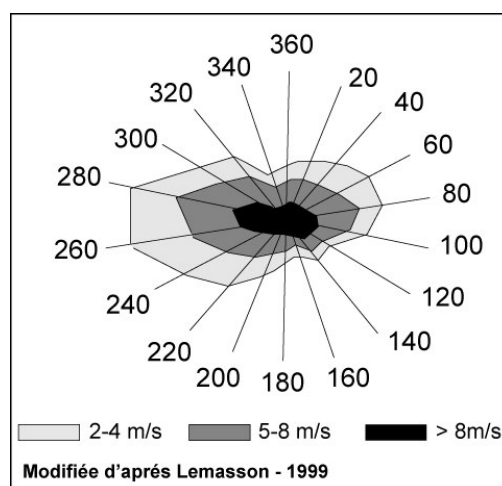


Figure I.7 : Rose des vents à Belle Ile pour la période 1970-1999, établie à partir des travaux de Lemasson (1999)

A Belle Ile, la vitesse de vents forts de secteur Ouest et Sud augmente après les années 1975, d'environ 0.2m/s en moyenne (Lemasson, 1999).



Ces changements dans la fréquence et la vitesse des vents soufflant sur l'Atlantique Nord ont été assimilés par de nombreux auteurs (*Sickmüller et al., 2000, Lozano et al., 2004*) à une phase positive de l'Oscillation Nord Atlantique (O.N.A.). Toutefois, l'O.N.A. n'explique pas les changements intervenus dans la période 1894-1913. De plus, l'analyse de l'évolution des vitesses des vents traduit une forte variabilité interannuelle des vitesses des vents, à une échelle multidécennale, qui rend difficile l'établissement de tendances claires, notamment pour l'évolution des vents de tempêtes (*Jouan, 2005*).

### I.1.3. Régime des vents sur le court terme

Sur le court terme, les données de vents disponibles au sémaphore du Talut mettent en évidence une forte fréquence des vents de secteur Est/Nord-Est et Sud-Ouest/ Nord-Ouest (Figure I.8). Les vents les plus forts, caractérisés par des vitesses supérieures à 15m/s sont globalement orientés Sud-Ouest. Les vents de secteur Nord-Est, bien que fréquents sur la période étudiée, sont associés à des vitesses faibles et modérées n'excédant pas en majorité 10m/s.

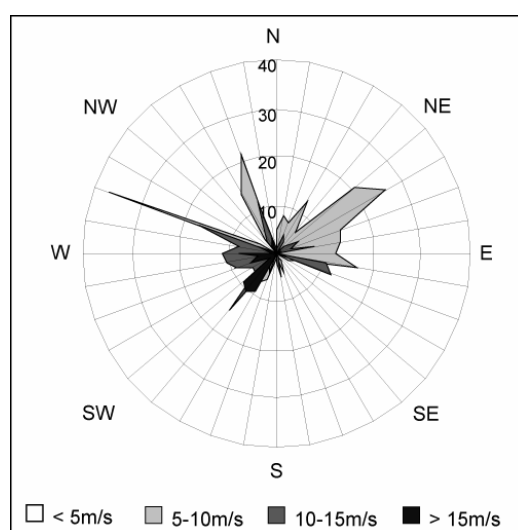


Figure I.8 : Rose des vents - Sémaphore du Talut (Belle Ile) - 2008/2009

Ces données ont été comparées aux différents types de circulation atmosphériques enregistrés par Météo France suivant la classification développée par James (2007). Les résultats sont présentés dans le tableau I.3. Les flux de secteur Ouest dominant sur la période 2008/2009, suivi des flux de secteur Nord/Nord-Ouest et Nord/Nord-Est. A l'inverse, les types de circulation atmosphériques engendrant des flux orientés Sud sont moins fréquents. L'ensemble de ces données sont cohérentes avec les fréquences moyennes annuelles des directions du vent en pourcentage par groupes de vitesses, entre 1981 et 1990 à Lorient, Belle-Ile et l'Ile de Groix (*Météo France, 1990*).

Ces données mettent en évidence la prédominance des vents de secteur Sud-Ouest pour les vitesses supérieures à 8m/s et l'importance des vents provenant d'un large secteur Nord-Ouest/Est pour les vitesses faibles et moyennes, comprises entre 2m/s et 8m/s.

Fréquences des circulations dominées par des flux de secteur Nord - Nord-Est									
NEA	NEZ	HFA	HFZ	HNFA	HNFA	HNFA	HNFA	Total	% par rapport au total des données
18	13	17	13	23	24			108	21.01%
Fréquences des circulations dominées par des flux de secteur Nord - Nord-Ouest									
NA	NZ	HNA	HNZ	HB	TRM	NWA	NWZ	Total	Total
6	18	9	18	17	7	12	32	119	23.15%
Fréquences des circulations dominées par des flux de secteur Ouest									
WA	WZ	WS	WW					Total	Total
76	48	36	58					218	42.41%
Fréquences des circulations dominées par des flux de secteur Sud									
SEA	SEZ	SA	SZ	TB	TRW			Total	Total
8	10	7	0	18	26			69	13.42%
Total des différents types de circulation répertoriés								514	

Tableau I.3 : Fréquence des types de temps observés en Bretagne Sud sur la période 2008/2009

## I.2. Le régime des houles

La côte de Bretagne Sud-Est est ainsi soumise à un régime de vent largement contrôlé par les flux provenant d'un quadrant Nord-Ouest/ Sud-Ouest. Il en résulte que les houles les plus fréquentes proviennent elles aussi majoritairement d'un large quart Nord-Ouest/Sud-Ouest (*Bos et Quélenne, 1988*).

### I.2.1. Caractérisation du régime des houles sur le temps long

Tessier (2006) présente un état des lieux de la climatologie des houles pour notre secteur à partir de séries temporelles des paramètres de houle s'étalant entre 1979 et 2000. Ces séries temporelles ont été obtenues par simulation, à partir du modèle de vagues de troisième génération OWI 3-G, qui prend en compte les paramètres de houles simulées pour un point situé au Nord-Ouest de Belle Ile (46.9°N4.2°W). Elles ont permis de mettre en évidence que les houles proviennent majoritairement de l'Ouest et du Nord-Ouest. De plus, en période hivernale, l'hydrodynamisme lié à l'action des houles est important : les houles fortes se produisent plusieurs jours par an. Par exemple, on peut observer en moyenne 6 jours par an des houles supérieures à 6m. Sur ce pas de temps, le régime des houles n'enregistre pas de variations significatives.

Ces résultats concordent avec les mesures réalisées entre 1985 et 1990 par le S.T.N.M.T.E. (Service Technique de la Navigation Maritime et des Transmissions d'Equipe) au Sud de Belle Ile, qui mettent en évidence que les houles caractérisées par une hauteur significative de 6.4 m et une période de 13 secondes ont une période de retour annuelle. Ces houles proviennent d'une large quadrant Nord-Ouest – Sud (*Safege, 2008*).

### I.2.1. Caractérisation du régime des houles sur le temps court

De manière à décrire la climatologie des houles sur le court terme, les données des bases de données CANDHIS et PREVIMER ont été utilisées.

La base de données CANDHIS propose une analyse des enregistrements effectués par trois bouées situées au large des côtes de Bretagne Sud, à partir des corrélogrammes entre la hauteur significative des houles et la période moyenne. La durée des enregistrements pour chacune des bouées est indiquée en annexe (Annexe B). La période d'acquisition de données la plus longue correspond à la bouée 08504 L'Ile d'Yeu Nord. Sur cette période, les houles les plus fréquentes sont caractérisées par des hauteurs significatives comprises entre 1m et 2m, pour des périodes comprises entre 4s et 6s. Les houles les plus fortes et les plus fréquentes, représentant 10‰ au moins des enregistrements, sont caractérisées par une hauteur significative égale à 3m et une période moyenne égale à 7s. Les données mesurées à la bouée 04402. Le Croisic correspondent à la période d'enregistrement la plus courte et concernent principalement la période estivale de l'année 2008. Sur cette période, les hauteurs significatives les plus fréquentes des houles sont comprises entre 1m et 0.50m, pour des périodes moyennes comprises entre 3s et 7s. Les enregistrements effectués à la bouée 04403 Plateau du Four débutent en Avril 2008 et s'achèvent en Février 2010. Les houles caractérisées par une fréquence d'occurrence supérieures à 50‰ sont caractérisées par des hauteurs significatives comprises entre 1m et 0.50m, pour une période moyenne comprise entre 4s et 7s. Les houles les moins fréquentes, inférieures ou égales à 10‰ du total des enregistrements, sont caractérisées par des hauteurs significatives comprises entre 1.5m et 2m pour des périodes comprises entre 4s et 7s.

Les données de houle issues de la base de données PREVIMER permettent de compléter cette description générale de la climatologie des houles en proposant une information complémentaire concernant l'orientation des houles modélisées. A partir de cette base de donnée, la direction moyenne des houles au large de Belle-Ile pour les périodes correspondant au maximum de densité spectrale (Tp) a été établie entre Janvier 2008 et Juin 2009, période concernée par le suivi topographique et morphodynamique des plages discutée en partie III. Le tableau I.4 synthétise les résultats obtenus. Les houles les plus fréquentes sont orientées Ouest/Sud/Ouest et Ouest/Nord/Ouest sur la période étudiée.

Orientation		Fréquence
<b>ENE</b>	<b>45° - 90°</b>	2.29%
<b>ESE</b>	<b>90° - 135°</b>	2.67%
<b>SSE</b>	<b>135° - 180°</b>	0.76%
<b>SSW</b>	<b>180° - 225°</b>	5.14%
<b>WSW</b>	<b>225° - 270°</b>	<b>48.76%</b>
<b>WNW</b>	<b>270° - 315°</b>	<b>39.05%</b>
<b>NNW</b>	<b>315° - 360°</b>	1.33%

Tableau I.4 : Fréquence des houles enregistrées au Sud de Belle Ile en fonction de leur orientation, sur la période 2008/2009.

### I.3. Le régime des courants de marée

Dans le Golfe de Gascogne, l'onde de marée est semi-diurne (*Tessier, 2006*). Elle oscille autour d'un point amphidromique, situé à l'Est de Terre-Neuve, et se propage vers le Sud et le Nord. Aux abords du plateau continental, l'onde de marée est réfractée et s'oriente perpendiculairement aux isobathes.

Le marnage est compris entre 4 et 5 mètres (*Tessier, 2006*) sur l'ensemble des côtes de Bretagne Sud, alors que l'intensité des courants de marée est proportionnelle à la largeur du plateau. Les vitesses des courants de marée sont faibles, généralement inférieures à 1 noeud (*Salomon et Lazure, 1988*). Ces données sont confirmées par les travaux de Safege (2008) selon lesquels les valeurs moyennes des vitesses de courant sont comprises entre 0.5 et 0.8 nœuds au maximum en période de vives eaux moyennes. Il en résulte que la circulation hydrodynamique, au large du littoral étudié, est largement influencée par les courants générés par les vents, auxquels s'ajoutent les courants résultant des gradients de pression, notamment à proximité de l'estuaire de la Vilaine (*Tessier, 2006*).

Le tableau I.5 propose les valeurs du marnage moyen, du marnage maximum et du marnage minimum entre Février 2008 – Juin 2009, période au cours de laquelle ont été effectuées le suivi morphologique des plages et l'analyse de leurs comportements morphodynamiques (Partie III). A l'Ouest et à l'Est de la zone d'étude, dans les ports de Lorient et Pénérif, le marnage moyen sur la période étudiée est caractérisé par des valeurs supérieures à 3m, et le marnage maximum excède 5m. Au Nord-Est du Golfe du Morbihan, à Vannes, le marnage est moins important avec des valeurs moyennes proches de 2m.

De la même manière, les travaux de modélisation hydrodynamique et sédimentologique réalisés par Safege (2008) ont montré qu'au large des côtes situées entre l'embouchure du Blavet, Quiberon et Belle Ile, les transits sédimentaires résultant de la seule action des courants de marée sont très faibles.

	<b>Lorient</b>	<b>Port Louis</b>	<b>Port Haliguen</b>	<b>Vannes</b>	<b>Pénerf</b>
<b>Marnage moyen</b>	3.14 m	3.06 m	3.31 m	2.26 m	3.44 m
<b>Marnage maximum</b>	5.05 m	5.29 m	5.61 m	3.04 m	5.69 m
<b>Marnage minimum</b>	0.63 m	0.94 m	0.61 m	0.76 m	0.44 m

*Tableau I.5 : Valeurs du marnage moyen, maximum et minimum établi pour les ports de Lorient, Port Louis, Port Haliguen, Vannes et Pénerf sur la période 2008/2009*

Ils sont essentiellement localisés entre Belle Ile et Quiberon où ils sont orientés vers l'Ouest, et, dans la partie septentrionale de ce secteur, vers l'Est. Les mouvements deviennent plus significatifs à partir du moment où l'action des vents modérés, de secteur Ouest, est combinée à l'action des courants de marée.

Toutefois, localement, des secteurs sont caractérisés par des vitesses de courant de marée nettement plus conséquentes, tel au niveau du goulet de Port Navalo, à l'entrée du Golfe du Morbihan (carte i.1) où les courants de marée peuvent atteindre des valeurs théoriques proches de 9 nœuds pour une marée théorique de coefficient 120 (Marcos *et al.*, 1996). Au niveau de la passe de la Teignouse (carte I.3), les vitesses des courants de marée sont également plus importantes et dépassent les moyennes enregistrées sur le plateau (Salomon et Lazure, 1988).

### Synthèse:

Les littoraux de Bretagne Sud sont constitués de côtes méso à macro tidales avec un marnage compris entre 4 m et 5 m selon les secteurs. Les houles et vents dominants proviennent majoritairement d'un quart Nord-Ouest/Sud-Ouest. Depuis les années 1990, les caractéristiques des houles atteignant la côte n'ont pas enregistré de changements majeurs, alors qu'il est difficile d'établir des tendances claires concernant l'évolution des vents les plus forts et les plus fréquents. La circulation hydrosédimentaire est dominée par les courants de houle, excepté dans le Golfe du Morbihan où les courants de marée atteignent des vitesses supérieures à 9 nœuds.

## II. DESCRIPTION DU CADRE GEOLOGIQUE ET GEOMORPHOLOGIQUE : ETAT DE L'ART

Cette deuxième section s'attache à décrire la structure géologique et les caractéristiques géomorphologiques des côtes étudiées.

### II.1. Le littoral Sud breton : un littoral peu étudié

Les premiers travaux qui se sont intéressés à la géomorphologie des côtes et de l'avant côte de Bretagne Sud ont été élaborés par Ferronière (1921), Guilcher (1948), puis par Pinot (1974), qui s'est intéressé à la cartographie du *précontinent breton*, et par Vanney (1977) dont les travaux ont porté sur l'analyse de la couverture sédimentaire de la plateforme Sud - armoricaine. Ces différentes analyses ont permis de cartographier, à l'échelle régionale, le cadre géomorphologique de la plateforme Sud - armoricaine.

Les travaux de Bouysse et Horn (1968), Delanoë et Pinot (1977), puis plus récemment de Proust et al. (2001) et Menier et al. (2004, 2006) ont permis d'approfondir la compréhension de la mise en place des dépôts sédimentaires sur la plateforme Sud armoricaine, entre les isobathes 0 et – 50 m, et les processus de remplissage des paléo vallées.

Toutefois, peu d'études se sont focalisées sur l'évolution des formes littorales elles-mêmes. Les travaux de Jussy et Guilcher (1962) ont cherché à comprendre le fonctionnement de la baie de Quiberon. Les plages de la baie de Suscinio ont également fait l'objet de recherches dirigées par Regnaud et al., (2004). Brault et al., (2001) se sont intéressés à la géologie des falaises de Pénestin.

Des travaux de mémoire se sont intéressés au recul des falaises de la Presqu'île de Quiberon, analysé par Gastine (2005), à la morphologie du Golfe du Morbihan (*Caroff, 1998, Dubois, 2007*) ou à l'impact des aménagements et de la fréquentation du littoral du Golfe sur les processus d'érosion côtière (*Gicquel, 2005*). Des travaux dirigés par Miossec (*Boutin, 1995, Mercier, 1997, Probert, 2000*) ont étudié et analysé la morphologie des côtes de Bretagne Sud, et en particulier à l'impact des infrastructures touristiques sur l'évolution des falaises de Pénestin (*Miossec, 1995*). Enfin, des mémoires de Master réalisés à l'Université de Rennes 2 se sont intéressés à l'évolution des profils des plages de la Presqu'île de Rhuys (*Juhel, 1999*) ou aux paysages littoraux du Golfe du Morbihan et de la rivière d'Auray (*Rault, 1995*) ou à la gestion du littoral (*Conan, 2005*).

Un certain nombre de travaux, initiés par des collectivités et organismes publics et privés se sont également intéressés, à l'échelle locale ou sub-locale, à certains secteurs du littoral Sud breton.

Il convient de citer, à titre d'exemple les travaux effectués par Bos et Quélenec (1988), Migniot (1989) et Latteux (2002) sur les plages du massif dunaire Gâvres-Penthièvre et de la ria d'Etel; les travaux initiés par la DIREN Bretagne, l'I.U.E.M et l'Ifremer concernant la cartographie de la couverture biosédimentaire et des habitats marins dans le Golfe du Morbihan (*de Kergariou, 1996, Bernard, 2001*); les travaux de Regnaud et al. (2005) qui ont cherché à évaluer la vulnérabilité des côtes de Bretagne Sud au risque d'élévation du niveau des mers ; ou les travaux réalisés par Le Cornec et Schoorens (2007), concernant le risque de submersion de la mer de Gâvres.

L'ensemble de ces travaux n'a permis de développer qu'une connaissance segmentée du fonctionnement géomorphologique des littoraux morbihannais. Aussi, afin de discuter de leur vulnérabilité dans un contexte d'élévation régionale du niveau des mers, une analyse intégrée des variations des formes littorales, et sur différentes échelles spatio-temporelles, est apparue nécessaire.

## II.2. Le cadre géologique

Le littoral étudié s'inscrit dans la partie Sud de la plateforme armoricaine, dans les domaines médio-armoricain et Sud-armoricain. L'histoire géologique du socle armoricain résulte principalement de deux évolutions géodynamiques successives, l'orogénèse cadomienne (620-540 Ma) et l'orogénèse hercynienne (440-280 Ma) qui ont largement contribué à façonner le relief actuel du massif armoricain (*Le Corre et al., 1991, Proust et al., 2008*).

La fracturation du socle est caractérisée par trois grandes familles de failles:

- une direction moyenne N30, héritée du Cadomien
- une direction moyenne N120, renvoyant à l'héritage Hercynien
- une direction moyenne N160 d'âge triasique

Le domaine médio-armoricain, qui correspond davantage à notre zone d'étude, est essentiellement composé de formations sédimentaires briovériennes, peu déformées par l'orogénèse cadomienne, et surmontées par des séries sédimentaires ordoviciennes à carbonifères. Les formations du carbonifère sont affectées par une schistosité et un métamorphisme de bas grade, contemporain de la mise en place des granites hercyniens. Le domaine sud-armoricain, quant à lui, est constitué de granitoïdes et de roches métamorphiques contemporains de l'orogénèse hercynienne.

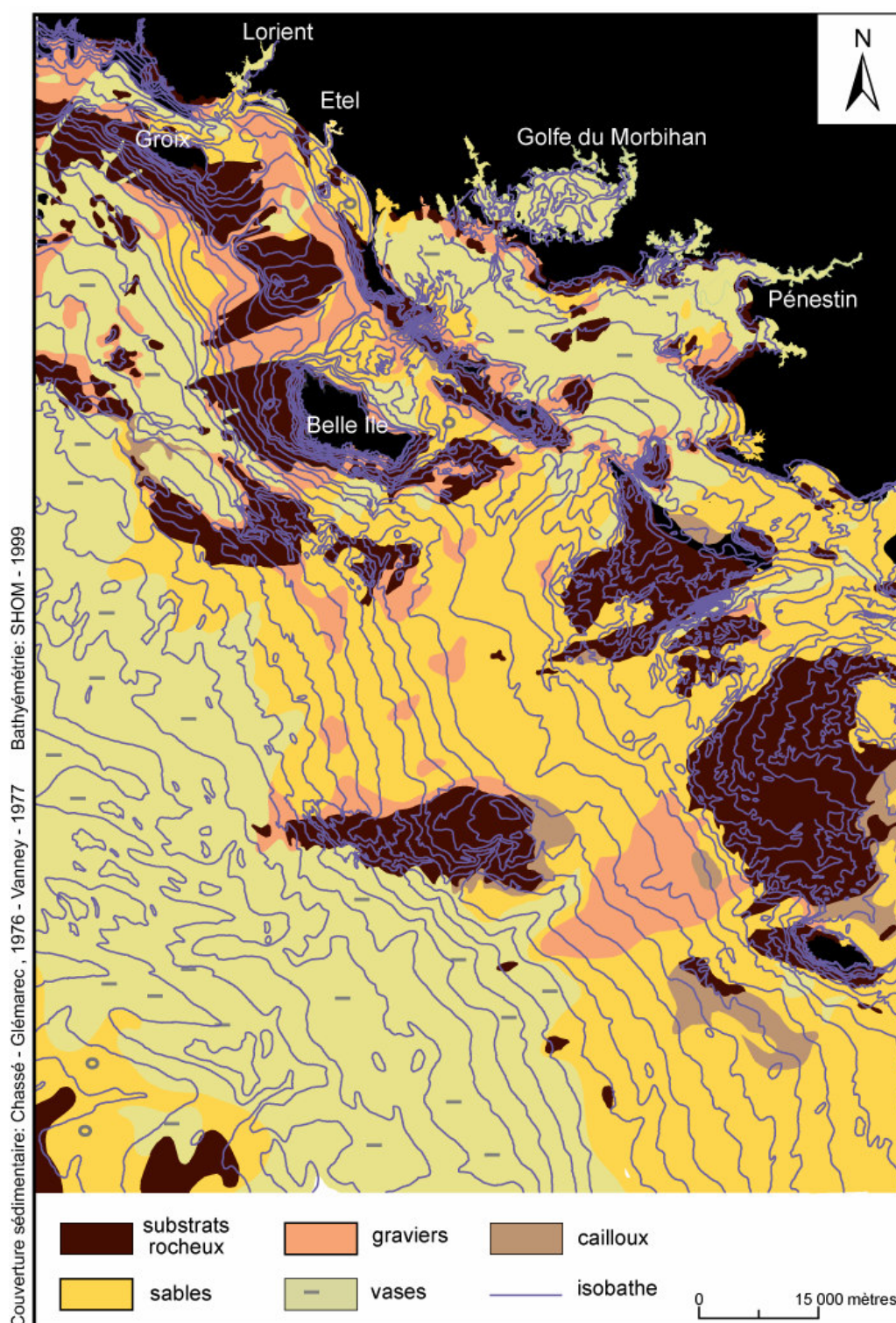
Il est traversé par deux incidents majeurs : Le Cicaillage Sud Armoricaire (CSA) qui s'étend de la pointe du Raz au Massif central et l'Escarpement Sud Armoricaire (ESA) qui s'étend des îles des Glénans au Glacis-Plaine de Belle-Ile (*Vanney, 1977*).

Au début du tertiaire, le massif armoricain est soumis à des conditions climatiques de type tropical à subtropical qui entraînent une altération importante des roches à l'affleurement (*Ollivier-Pierre et al., 1980*). Sur le massif armoricain, la couverture holocène affleure dans de nombreux secteurs, et constitue pour une certaine part la réserve sédimentaire des littoraux actuels (*Proust et al., 2008*). Les dépôts marins littoraux ont été mis en place durant une période s'étendant de 8900 à 7800BP à l'Actuel. Les dépôts hérités du Boréal sont caractérisés par une sédimentation argileuse, riche en matière organique. Ils sont préservés dans les fonds des baies actuelles. Puis, durant l'Atlantique (7800-5700BP), se sont accumulés des dépôts de sables fins et d'argiles, préservés dans les vallées côtières (*Morzadec et Monnier, 1982, Menier et al, 2006*).

Ainsi, de manière générale, les sédiments qui se trouvent actuellement entre la côte et l'isobathe 50m sont d'origines mixtes, fluvio-marines, ou strictement marines. Les faciès sédimentaires arborent une grande hétérogénéité : ils sont composés aussi bien de particules bio-détritiques que de matériaux siliceux ou carbonatés et présentent une gamme granulométrique assez vaste (*Menier, 2004*). Au large de Lorient et de Penthievre les fonds sont tapissés de dépôts sableux et de graviers, encaissés entre la côte et une barrière rocheuse. Plus au large, au-delà de la barrière rocheuse, les fonds sont beaucoup plus vaseux. Dans le Mor Bras et au large de la Presqu'île de Rhuys, la sédimentation est également majoritairement vaseuse. Toutefois les secteurs rocheux sont ceinturés par des dépôts plus grossiers, type graviers alors que des cordons sableux se sont mis en place à proximité des terres émergées. A l'Ouest et au Nord-Ouest de Belle-île les fonds sont à nouveau plus sableux (*Carte I.1*).

Ces sédiments, de natures diverses, déposés dans les petits fonds, inférieurs à 10 m (*Yoni et al., 2001*) constituent une partie des réserves sédimentaires disponibles pour alimenter le littoral de Bretagne Sud. Les sédiments charriés par les cours d'eau tels que la Vilaine, les rivières d'Etel et d'Auray, les rias du Crac'h ou de Saint Philibert, sont essentiellement constitués de particules fines, type vase, et apparaissent comme une source négligeable d'apports plus grossiers.



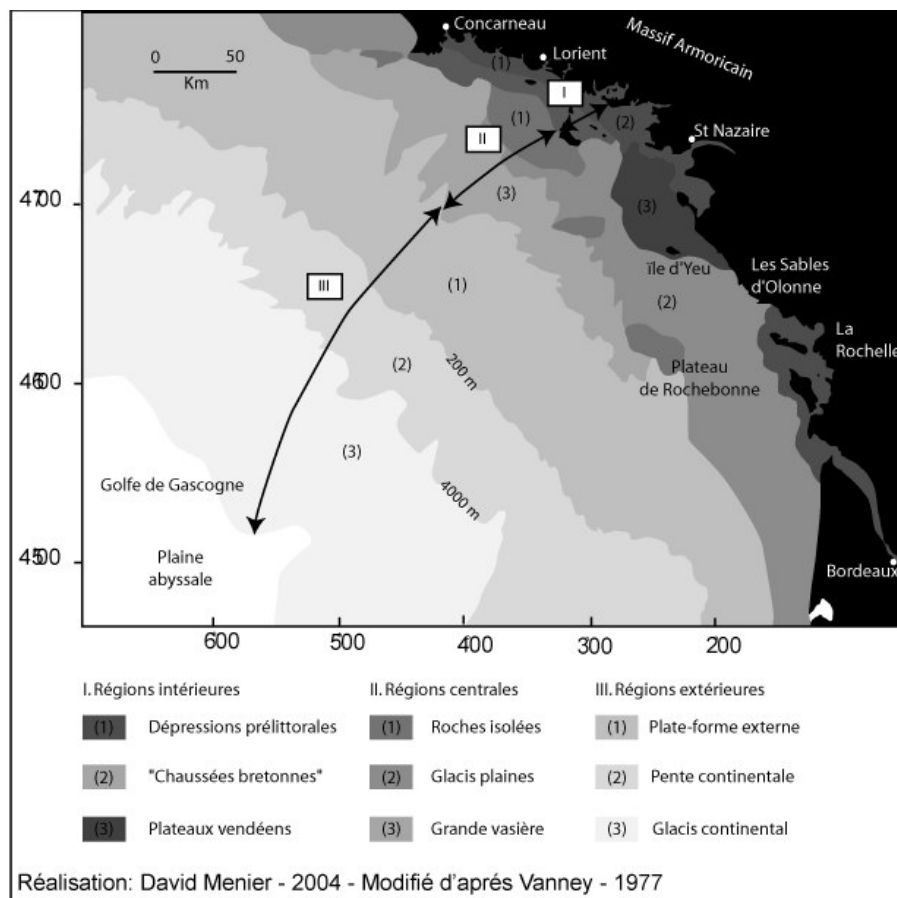


Carte I.1: Cartographie simplifiée de la couverture sédimentaire de la plateforme continentale, à partir des données de Chassé et Glémarec, 1976 - Vanney, 1977

### II.3. Géomorphologie de l'avant côte

Les travaux de Vanney (1977) et Pinot (1974) ont contribué à décrire la morphologie de la plateforme armoricaine, au large de la Bretagne. Vanney (1977) distingue trois grands ensembles physiographiques sur la plateforme (Carte I.2):

- les régions intérieures,
- les régions centrales,
- les régions extérieures.



*Carte I.2 : La marge Sud-armoricaine et les régions physiographiques (modifié d'après Vanney, 1977) in Menier, 2004.*

Les régions intérieures ont été décrites par Pinot (1974) comme un « *Pré-continent Breton* », situé entre la côte et l'isobathe – 50m. Elles sont divisées en deux ensembles:

A proximité de la côte, entre les isobathes 0 et -25/-30m, Vanney (1977) a décrit l'existence de vastes « *dépressions péri- littorales* », d'une profondeur souvent inférieure à 30 m, et caractérisées par un processus général de sédimentation vaseuse. La morphologie de la côte et de l'avant côte est principalement constituée par des baies, telle la baie de Lorient, de Quiberon ou la baie de la Vilaine. A l'Ouest du littoral étudié, la couverture sédimentaire des fonds entre l'isobathe 0 et -30 m est composée de sables et de graviers. A l'Est de la Presqu'île de Quiberon, les dépôts sont dominés par des particules plus fines, type vase, excepté dans la baie de Plouharnel et au droit de la Presqu'île de Rhuys où les fonds sont tapissés de dépôt sableux jusqu'à l'isobathe -10/ -15m (Carte I.1).

Vers le large, ces dépressions sont bordées par une « *échine péri-littorale* » (Pinot, 1974) qui s'apparente à une barrière rocheuse, « s'étendant de Quiberon aux îles de Glénans, sur environ 75 km. Elle est approximativement parallèle au rivage, et son escarpement face à la terre ferme s'en trouve à une distance de 6 à 14 km. » (Pinot, 1974). En effet, entre les isobathes -25m et -50m, la morphologie de la plateforme est marquée par :

- La présence de plateaux constituant des hauts fonds (carte i.I), s'élevant très près de la surface, tels les plateaux des Birvideaux (-3.6m N.G.F.) de l'Armiton (-11m .G.F.) ou de Four (-0.3m N.G.F.),
- La présence d'îles (carte i.1), telles que l'île de Groix (47m N.G.F.), Houat (29m N.G.F.), Hoëdic (22m N.G.F) ou Belle-île (80m N.G.F.) qui constituent la partie émergée de « *l'échine péri-littorale* »,

Cette barrière rocheuse joue un rôle notable dans la morphologie actuelle du littoral dans la mesure où elle contribue à diminuer sensiblement l'énergie des houles atlantiques qui viennent percuter la ligne de rivage.

Par ailleurs, cette barrière est entrecoupée par de nombreuses failles transversales, souvent situées dans le prolongement de celles connues à terre. Ces failles ont permis à des brèches de s'ouvrir, mettant ainsi en relation la dépression péri-littorale avec le reste de la plateforme continentale. Elles constituent en outre des points de passage privilégiés, favorisant les échanges sédimentaires (Vanney 1977), et créant surtout des couloirs où s'engouffrent courants de houle et de marée.

Un certain nombre de ces brèches s'apparentent à d'anciennes vallées fossiles, telle la brèche située quasiment face à la rivière d'Etel (Menier, 2006). La passe de la Teignouse (carte i.1) constitue la brèche la plus profonde (Vanney, 1977). Au-delà de l'isobathe – 50m, les espaces les plus éloignés du littoral actuel ne présentent pas d'intérêt majeur dans le cadre de notre étude, car il semble probable qu'aucun échange sédimentaire ne se produise entre ces régions et la frange littorale.

En effet, la fermeture du bas de plage a été établie à une profondeur proche de – 20m. En 1974, Pinot a mis en évidence l'existence d'une rupture de pente comprise entre –14 m et –20m au large du massif dunaire situé entre Gâvres et Penthievre et l'a assimilée à une fermeture de bas de plage. Des analyses granulométriques plus récentes conduites par Estournes (2007, 2008) ont également permis d'estimer la fermeture du bas de plage à environ – 20 m.

La notion de profondeur de clôture, développée par Hallermeier (1981) permet de déterminer la limite vers le large à partir de laquelle aucun transport sédimentaire significatif en direction des côtes n'est observé. A partir d'un travail d'observation de données morphologiques, associées à des données relatives aux caractéristiques des houles incidentes, Hallermeier (1981) définit la profondeur de clôture telle que:

$$(Equation 1) \quad H_c = 2.28H_{sx} - 68.5 \times H_{sx}^2 / gT_{sx}^2$$

Où  $H_{sx}$  correspond à l'amplitude maximale des vagues de tempêtes qui n'est dépassée que 12h par an et  $T_{sx}$  à leur période associée.

La notion de profondeur de clôture, associée à celle de profil d'équilibre, a fait l'objet de certaines critiques (*Inman et al., 1993*). Toutefois, les travaux de Nicholls et al., (1998) ont mis en évidence qu'elle constituait toujours un concept efficace pour déterminer la profondeur à partir de laquelle les transits sédimentaires en direction de la côte deviennent négligeables. Ainsi, cette formule est toujours largement utilisée dans les travaux de géomorphologie littorale (*Suanez et al., 1998, Dehouck, 2006*).

Dans le cadre de ces travaux, la formule (1) a été utilisée de manière à cartographier les limites du prisme littoral et à identifier les surfaces sédimentaires sous-marines susceptibles d'interagir avec les dynamiques littorales.

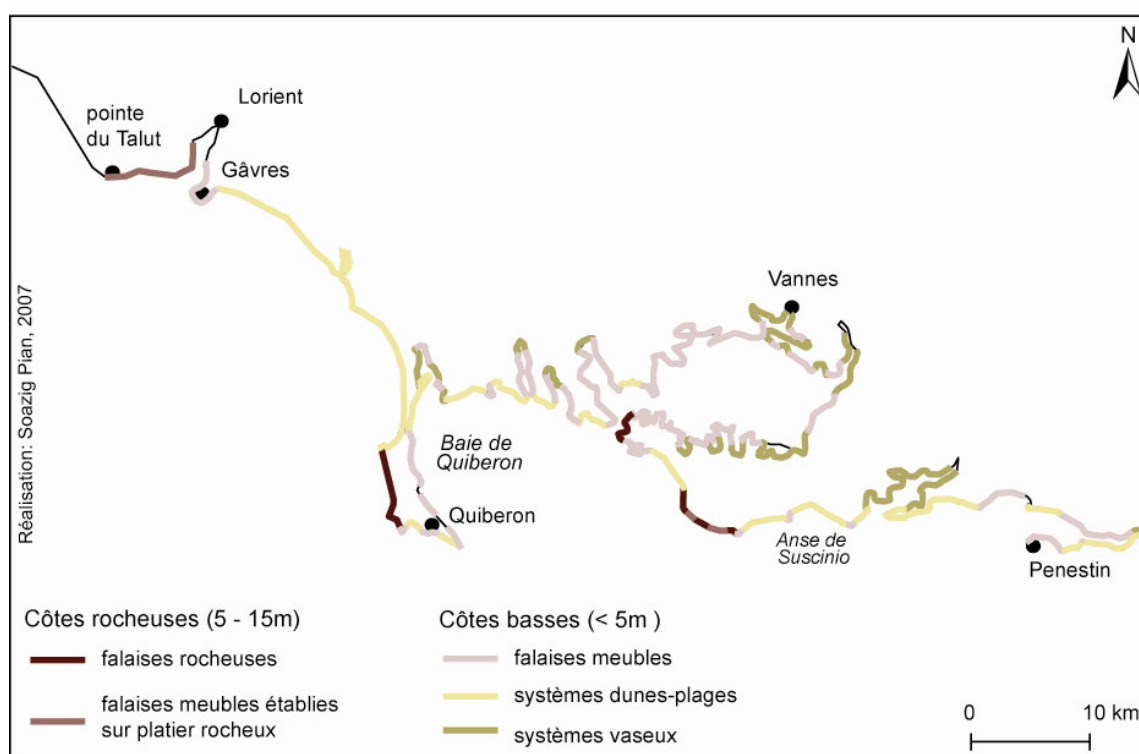
Ces données seront utilisées lors des analyses suivantes pour définir les limites des cellules sédimentaires (Partie II). Les paramètres des vagues prises en compte correspondent aux enregistrements effectués au large de Belle Ile entre 1985 et 1990 par le C.E.T.M.E.F. Pour  $H_{sx}$  égale à 9m et  $T_{sx}$  à 14s, les valeurs de  $H_c$  avoisinent 17.95 m.

## II.4. Géomorphologie de la côte

La côte entre Lorient et Pénestin est marquée par une grande diversité de matériaux et de formes littorales où se succèdent des côtes à falaises, des plages de poches, des platiers rocheux surmontés de falaises meubles, et des côtes basses, composées de cordons sableux, de plages et de massifs dunaires.

Chaque portion de côte est caractérisée par un type bien spécifique de paysage littoral, correspondant à des formes de relief particulières résultant de la combinaison des héritages géologiques locaux, de la nature de la roche en place, de l'exposition locale par rapport aux vents et houles dominants.

Toutefois, il est possible de classer les différentes formes littorales jalonnant la côte entre Lorient et Penestin en cinq grands types d'entités morphologiques (Carte I.3) :



Carte I.3: Cartographie des différents types de côtes en Bretagne Sud.

### Les côtes à falaises rocheuses

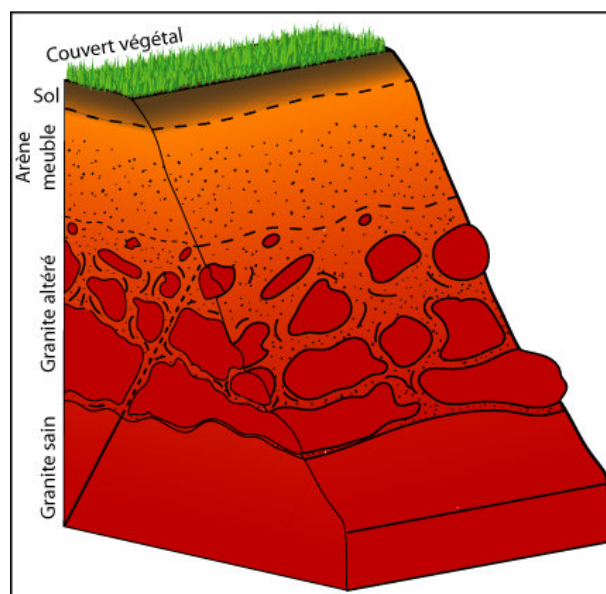
Les côtes à falaise rocheuse correspondent au type 4 de falaise discuté au chapitre 1. Elles se rencontrent essentiellement dans les secteurs des presqu'îles de Quiberon et de Rhuys. Dans la presqu'île de Quiberon, les falaises, taillées dans des granites et des orthogneiss (Sellier, 2009), peuvent atteindre environ 15m au Nord de la presqu'île. Aux pieds des falaises s'étendent des plages de poche. Dans le secteur de Port Navalo et de la presqu'île de Rhuys, la façade atlantique du littoral est constituée de falaises élaborées dans des matériaux métamorphiques et granitiques. Battues par les houles et vents dominants, ces côtes constituées de falaises rocheuses présentent un paysage littoral rugueux, qui ne représente que 9% environ du linéaire côtier étudié. Ces formations rocheuses constituent les secteurs les plus élevés du littoral Sud breton, avec des altitudes souvent supérieures à 10 m et pouvant dépasser 15 m.

### Les côtes basses à falaises meubles établies sur platiers rocheux émergents

Ces falaises correspondent aux falaises de type 3b décrit précédemment. Ce sont des falaises meubles établies sur un platier rocheux. Il s'agit de côtes rocheuses, constituées de platiers rocheux et de petites et moyennes falaises (Hauteur < 10m). Ce type de côte est représenté à l'Ouest de la rade de Lorient, entre la pointe du Talut et l'entrée du port de Lorient. Dans ce secteur, s'étendent des falaises de petite amplitude, taillées dans des matériaux granitiques, prolongées vers la mer par un platier rocheux, dépouillé de toute couverture sédimentaire, et surmontées par une couche d'altérites. Cet horizon d'altération est souvent végétalisé et pédogénéisé. Il s'achève en talus d'érosion, surplombant la partie supérieure du platier rocheux où viennent s'accumuler les matériaux produits par le recul du talus (Figure I.9). Des plages de poche ont pu se développer localement, telles l'anse du Stole ou l'anse de Kerguelen.

On retrouve le même type de falaises, établies sur un platier émergent, à l'Est de la presqu'île rocheuse de Rhuys où l'horizon d'altération est souvent davantage développé.

Par rapport à la totalité du linéaire côtier étudié, cet ensemble ne représente que 5% environ des paysages littoraux rencontrés.

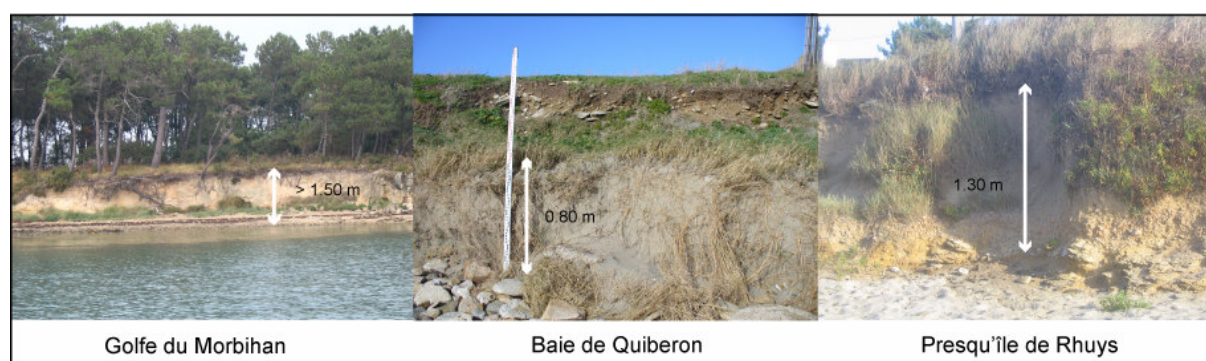


*Figure I.9: Représentation schématique des falaises de la pointe du Talut.*



### Les côtes basses à falaises meubles

Ce type de côte regroupe les types 2 et 3a de falaises décrit au chapitre 1. Il est très répandu sur l'ensemble du littoral Sud breton et représente quasiment 37% du linéaire côtier étudié. Ces falaises sont caractérisées par des altitudes relativement faibles, inférieures à 10 m pour les hauteurs maximales, et très souvent comprises entre 1m et 5m. Les côtes à falaises meubles se situent essentiellement au niveau de la pointe de Gâvres, en baie de Quiberon, dans le Golfe du Morbihan et en baie de Vilaine (Figure I.10). Dans ces quatre secteurs, la nature de la roche constituant la falaise n'est pas toujours identique, offrant ainsi un large panel de paysages littoraux.



*Figure I.10: Illustration des falaises meubles rencontrés le long du littoral Sud breton*

A Gâvres, les falaises sont élaborées dans des horizons d'altération et sont localement surmontées par des dunes grimpantes. Dans la baie de Quiberon, des falaises entièrement taillées dans des altérites alternent avec des falaises où la roche en place, souvent d'origine granitique est encore présente bien que fortement altérée. Dans le Golfe du Morbihan les types de falaises rencontrés sont plus variés : élaborées à partir de matériaux granitiques ou schisteux, elles présentent généralement un horizon d'altération bien développé, parfois surmonté d'un sol peu épais. Il convient également de noter la présence de telles falaises au Nord de Penthievre et au Sud-Est de la presqu'île de Quiberon.

### Les côtes basses sableuses

Les côtes basses, constituées de matériaux majoritairement sableux, représentent la plus grande partie du linéaire étudié, soit environ 48%. Organisées en cordons sableux ou en systèmes dunes-plages, inégalement développés, elles jalonnent l'ensemble de la côte étudiée, avec à l'Ouest la présence du vaste cordon dunaire Gâvres-Penthievre, puis, plus au Sud-Est les plages de la baie de Quiberon et de l'anse de Suscinio, adossées à des massifs dunaires plus ou moins préservés. Dans le Golfe du Morbihan et au niveau de l'estuaire de la Vilaine, des cordons sableux se sont également développés. Ils sont généralement adossés à des falaises meubles de type 2 ou 3.

Lorsque les plages sont adossées à des massifs dunaires, plusieurs types de contact dune-plage peuvent être identifiés le long du linéaire côtier étudié. Sur la période Décembre 2007 – Avril 2010, ils correspondent majoritairement au type 1a, 1b, 2a et 2b discutés au sein du chapitre précédent. En effet, au sein du massif dunaire Gâvres Penthievre, de la baie de Quiberon, et de la presqu'île de Rhuys, le versant externe bordier des systèmes de cordons sableux est caractérisé par une morphologie assimilée au type 1 au type 2 de la classification de Hesp (2002) (Chapitre 1). Les altitudes des dunes bordières sont plus importantes au sein du massif dunaire, où elles peuvent excéder deux mètres. Dans la baie de Quiberon, l'altitude des dunes bordières ne dépasse pas 1 m. Sur les plages de la presqu'île de Rhuys, les altitudes sont plus variées et sont comprises, selon les secteurs, entre 0.50m et 2m en moyenne.

Sur certaines plages, la morphologie du versant externe des dunes bordières témoigne d'une érosion du front dunaire, entaillé par des brèches d'origine éolienne ou anthropique. La couverture végétale est plus parsemée et les barrières de ganivelles parfois endommagées. Dans certains secteurs, tel à Kerouriec ou sur les plages de Kervest, des Govelins ou de Penvins, le front dunaire est taillé en falaise dunaire, assurant un contact dune-plage de type 3 ou 4 (Chapitre 1).

Cette description, effectuée à partir d'observations terrain et d'une analyse visuelle de l'orthophotographie 2004, ne délivre qu'une information ponctuelle sur l'état des dunes bordières, contrainte par les dates de journées terrain ainsi que celle de la prise de vue des clichés aériens. La zone de contact entre la plage et la dune est susceptible d'évoluer dans le temps (*Hesp, 2002*). Ainsi, sur la plage de Kerminthy au sein du massif dunaire Gâvres-Penthievre, les observations terrain effectuées en Décembre 2007 relèvent la présence d'une falaise dunaire alors qu'en Avril 2010 le contact entre la dune et la plage correspond à un contact de type 2b (Figure I.11). Toutefois, sur l'ensemble de la période étudiée, les types de contact dune-plage correspondent principalement aux six types identifiés au chapitre 1.

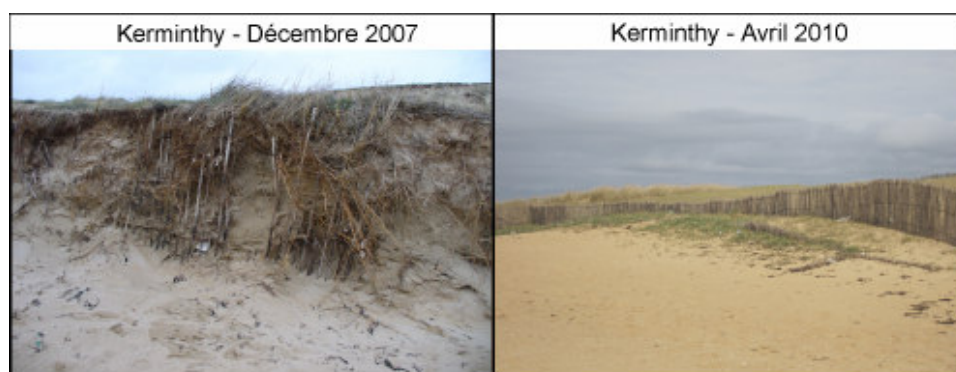


Figure I.11 : Evolution du contact dune-plage dans le temps à Kerminthy



### Les côtes basses vaseuses

Enfin, dans les secteurs les plus abrités, caractérisés par un faible hydrodynamisme, l'estran aborde un faciès vaseux, sur lequel ont pu se développer de véritables schorres (Figure I.12).

Le Golfe du Morbihan, notamment dans sa partie la plus orientale, est largement concerné par ce type d'estran. Il convient également de souligner l'existence de telles vasières dans la partie Est de la petite mer de Gâvres, à l'Ouest et au Sud de la baie de Plouharnel et au Nord de l'estuaire de la Vilaine. La transition entre les vasières et les surfaces couvertes par les schorres est marquée par un talus d'une hauteur souvent inférieure à 50 cm, taillé dans le schorre et s'apparentant aux micros falaises de type 1 décrit au chapitre précédent.



Figure I.12 Illustration de différentes vasières rencontrées entre Lorient et Penestin

### Synthèse:

Le relief de la frange côtière en Bretagne Sud-Est est marqué par la prédominance des côtes basses, souvent inférieures à 5 m, et constituées pour une large part de systèmes sableux ou de falaises de faible amplitude, taillées dans des matériaux tendres et altérés. Le socle est constitué de roches granitiques ou métamorphiques fortement diaclasées, marquées par un fort degré d'altération. Ces systèmes côtiers sont ainsi sensibles aux processus d'érosion maritimes et subaériens, et se trouvent par conséquent particulièrement sensibles aux évolutions du niveau marin, et à ses conséquences en terme de recul du trait de côte.

D'une manière générale, la barrière rocheuse située à partir de l'isobathe – 30 m contribue à atténuer l'effet des houles océaniques. Toutefois, les systèmes sableux et les falaises situées entre Lorient et Quiberon, orientés Ouest et Nord-Ouest, sont davantage exposés au courant de houles que les côtes de la baie de Quiberon, abritées derrière la presqu'île.

### III. DONNEES RELATIVES A L'ANTHROPISATION DU LITTORAL ETUDIE

A l'échelle de la Bretagne, la côte Sud apparaît comme un espace attractif, drainant populations et activités (*Gras, 2001*). Cette section a pour objectif de dresser un rapide tableau des données relatives à l'occupation humaine des littoraux de Bretagne Sud de manière à prendre la mesure de l'importance des pressions anthropiques exercées sur ces littoraux.

#### III.1. Données démographiques

A l'image de la plupart des littoraux bretons, la façade maritime du Morbihan enregistre une forte croissance démographique. Autour des agglomérations de Lorient et de Vannes, la plupart des communes enregistrent un accroissement de leur population supérieur à 130% entre 1962 et 2006. Ailleurs sur le littoral, l'augmentation de la population communale est comprise entre 20% et 130% (Carte I.3).

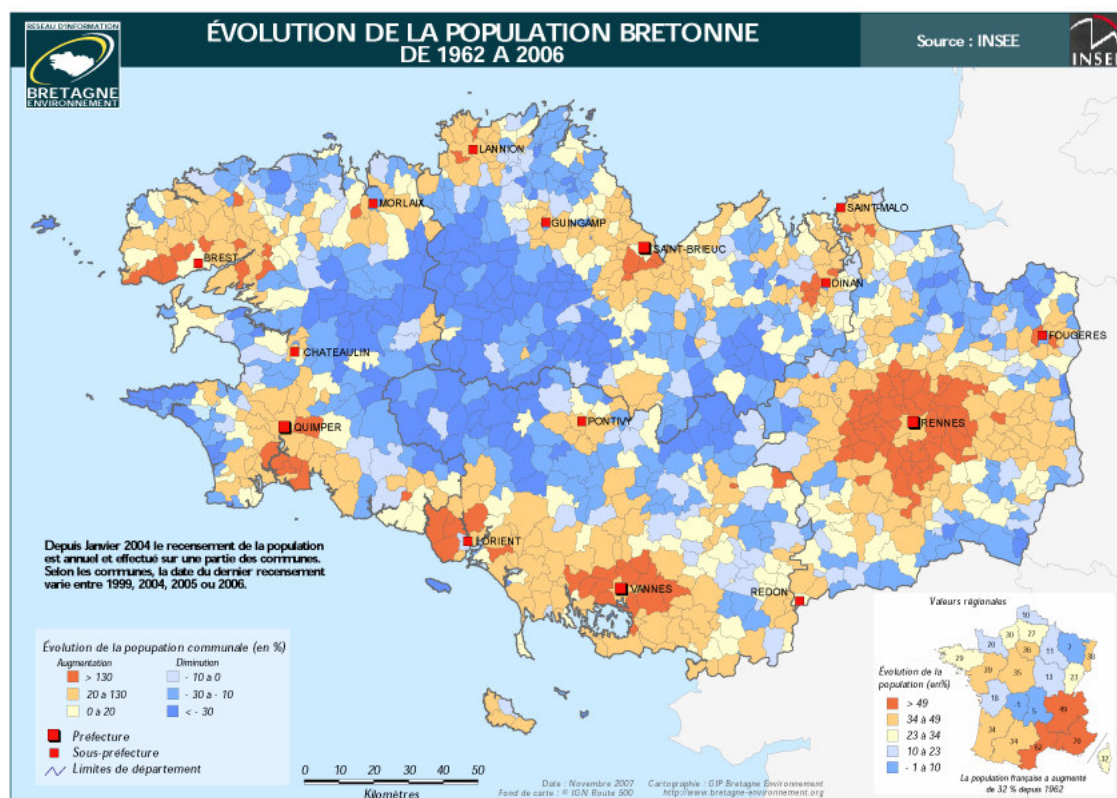
Pour comparaison, l'accroissement moyen de la population, à l'échelle régionale, s'élève sur la même période à 29% (Bretagne Environnement, 2008). Parallèlement à ce phénomène, la côte Sud regroupe les densités les plus fortes de population, notamment autour des pôles urbains de Lorient et de Vannes (Carte I.4).

D'après les derniers recensements effectués par l'I.N.S.E.E.<sup>5</sup>, la plupart des communes dont la façade maritime est concernée par nos travaux de recherche enregistrent des densités de population, souvent comprises entre 100 et 200 habitants au km<sup>2</sup>, ou plus rarement 200 et 400 habitants au km<sup>2</sup>. Les maximums sont atteints dans les communes des agglomérations de Lorient et de Vannes, où la densité de population est supérieure à 400 habitants au km<sup>2</sup> (*Bretagne Environnement, 2008*).

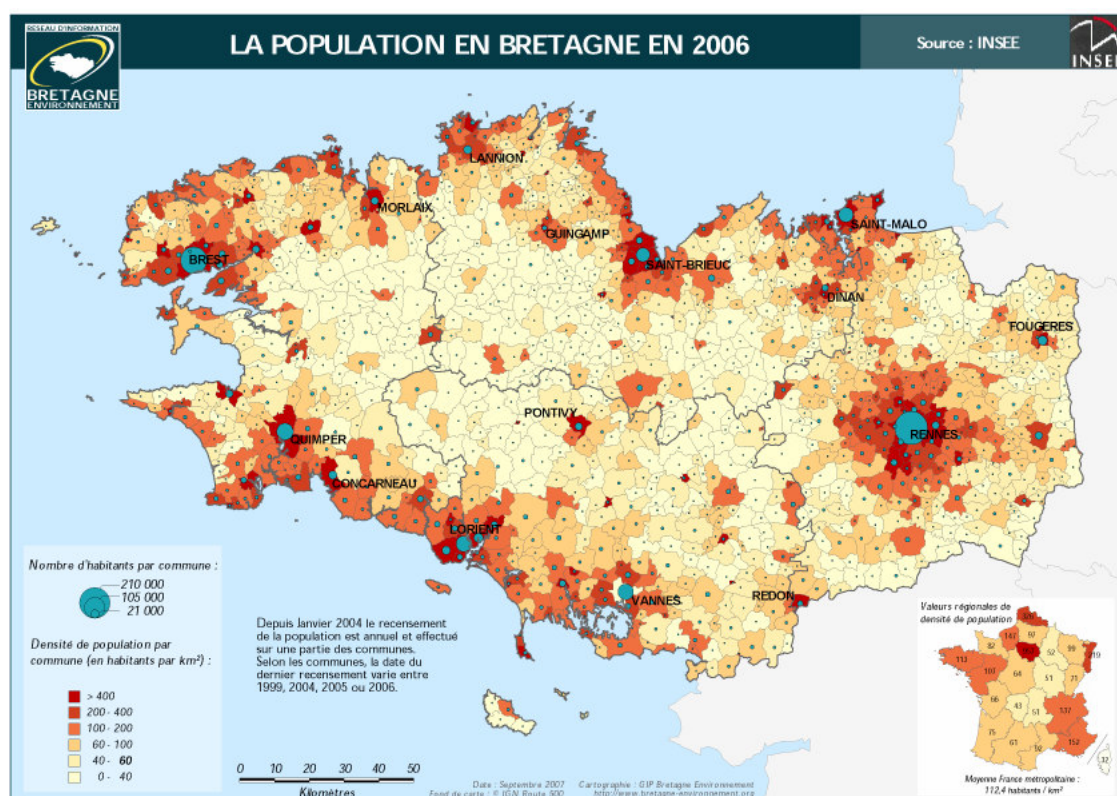
En outre, ces chiffres ne prennent pas en compte le gonflement des populations pendant la période estivale. En 2004, Breton (2004) comptabilise plus de 200 000 visiteurs en moyenne par an sur les sites protégés du littoral morbihannais. De plus, l'ensemble des communes du littoral Sud breton ont des taux de fonction touristique compris entre 100%-299% - 300%-499% et plus de 500%. Le taux de fonction touristique correspond au rapport entre la capacité d'accueil en lits touristiques d'une commune, et la population, à l'année, de la commune.

---

<sup>5</sup> Depuis Janvier 2004, le recensement de la population est annuel et effectué seulement sur une partie des communes. Pour chaque commune, les dates du dernier recensement peuvent donc être différentes et s'échelonnent entre 1999 et 2006 en ce qui concerne les données discutées dans le cadre de ces travaux.



Carte I.4 : Evolution démographique en Bretagne, par commune, de 1962 à 2006 in <http://www.bretagne-environnement.org>



Carte I.5 : Densité de population en Bretagne, par commune, en 2006 in <http://www.bretagne-environnement.org>

Lorsque la fréquentation des hébergements touristiques est maximale, ce taux permet d'estimer le gonflement potentiel de la population pendant la saison touristique (*Gaucher, 1994, in Depoid, 2004*). Les cantons de Quiberon et Sarzeau connaissent les plus fortes variations de population durant la période estivale (*Daniel, 1992*).

### III.2. L'évolution économique

Les littoraux morbihannais sont animés par un fort dynamisme économique, davantage marqué que dans le reste du département. Ce dynamisme économique est principalement soutenu par le secteur tertiaire, et plus spécifiquement par les activités de service associées au développement des activités touristiques (*Insee, 2007*).

Quelques activités industrielles se sont toutefois développées autour des ports de Lorient, Vannes ou de la ville d'Auray. Au sein du secteur secondaire, les industries agro-alimentaires connaissent le plus fort développement depuis les années 1980 (*Gras, 2001*).

Les secteurs du bâtiment et de l'artisanat progressent également, en lien avec la forte urbanisation de la zone littorale (*Insee, 2007*). A l'inverse, l'ensemble des activités agricoles enregistre un net recul, en lien avec une augmentation des pressions foncières (*Cébron et al. 2005*). Les activités liées au tourisme constituent le secteur le plus dynamique de l'économie morbihannaise (*CGM, 1997*).

A titre d'exemple, entre 1999 et 2005, le nombre d'établissements dédiés aux activités touristiques a augmenté de 12% (*Insee, 2007*). Dans les pays de Vannes et d'Auray, «*le tourisme constitue une activité majeure en terme d'emplois et de gestion de l'espace*» (*Daniel, 1992*). D'une manière générale, les activités touristiques sont concentrées sur les communes littorales et durant la période estivale. Jusque dans les années 1990, l'essor du tourisme est très marqué, mais depuis les années 2000, le nombre de nuitées tend à diminuer (*Depoid, 2004*).

### III.3 L'artificialisation du littoral

Le dynamisme démographique et économique qui anime les littoraux de Bretagne Sud s'accompagne d'une artificialisation croissante du trait de côte. Ce phénomène est particulièrement bien représenté dans la baie de Quiberon et la sur presqu'île de Rhuys où, en 2000, quasiment la totalité du linéaire côtier s'apparente à des espaces artificialisés non agricoles (carte I.8 et carte I.12). De la même manière, les surfaces construites sur la bande côtière entre 1990 et 2006 ont fortement augmenté.

Sur les communes de l'agglomération de Lorient, le cumul des surfaces des logements construits pendant cette période est compris entre 200 000 et 400 000 m<sup>2</sup>. Sur les communes situées entre Gâvres et Penthievre, ce chiffre est compris entre 40 000 et 200 000 m<sup>2</sup>. Il s'élève à 200 000 m<sup>2</sup> pour la commune de Quiberon.

Sur le pourtour du Golfe du Morbihan l'augmentation des surfaces bâties et dédiées à des logements entre 1990 et 2006 est supérieure autour de l'agglomération de Vannes et sur les rives Sud où elle atteint 400 000m<sup>2</sup> (*Bretagne Environnement, 2008*). A l'Est de la presqu'île de Rhuys, à mesure que l'on s'éloigne des principaux centres urbains, la pression anthropique exercée sur le littoral à travers la multiplication des surfaces habitées décroît légèrement (*Bretagne Environnement, 2006*).

Enfin, il convient d'ajouter que l'artificialisation du littoral se marque également par la mise en place d'aménagements et d'infrastructures contribuant à stabiliser le trait de côte, tel le mur de Gâvres au Nord du massif dunaire Gâvres - Penthievre, les barrières de ganivelles, les enrochements disposés le long des massifs dunaires ou les murs de protection établis dans le Golfe du Morbihan et sur la presqu'île de Rhuys.

Au total plus de 30% de l'ensemble du linéaire côtier étudié est artificialisé et stabilisé par la mise en place d'infrastructures lourdes, telles que des murs de protection<sup>6</sup>.

### Synthèse:

A l'échelle de la Bretagne, l'évolution socio-économique des littoraux morbihannais est marquée par un processus d'héliotropisme, qui caractérise l'évolution des littoraux, à l'échelle mondiale, depuis les années 1950. Les processus d'héliotropisme se manifestent par une concentration des populations et des activités sur la frange côtière favorisée, d'une part, par la multiplication des échanges dans le contexte d'une globalisation de l'économie, et d'autre part, par des mutations sociales, économiques et culturelles qui s'accompagnent d'une valorisation des temps et activités de loisirs, et d'une recherche de bien-être (*Corlay, 1998*). En Bretagne Sud, le dynamisme des littoraux est principalement soutenu par une forte croissance démographique et le développement des activités de services vers le tourisme. Il en résulte que les pressions anthropiques exercées sur le littoral sont croissantes, et se manifestent, entre autre, par une artificialisation importante du trait de côte.

---

<sup>6</sup> Cette valeur a été obtenue en mesurant la longueur du linéaire côtier artificialisé et non artificialisé, à partir des dalles de la B.D. Ortho 2004 et à l'aide du logiciel ArcGis9.2.

## Synthèse générale du chapitre 2

A l'échelle subrégionale, les littoraux étudiés partagent un certain nombre de caractéristiques communes, liées tant à l'histoire géologique de la région, à sa situation à l'Ouest de l'Europe, qui contrôle pour une part le régime climatique de vents et de houles affectant les évolutions de la côte, ou encore à l'histoire de son occupation par les sociétés humaines.

Développée à l'arrière de *l'échine péri-littorale* décrite par Pinot (1974), le littoral morbihannais est une côte méso à macro tidale, semi – battue, plus ou moins efficacement abritée des houles océaniques selon les secteurs. Cette configuration géomorphologique de l'avant côte contrôle largement le fonctionnement des dynamiques littorales associées à l'évolution des côtes, en réduisant l'impact des houles océaniques. En outre, l'évolution des formes littorales est également fortement contrainte par la faible résistance des roches en place aux processus d'érosion gravitaires, ainsi que par l'ensemble des pressions anthropiques croissantes, exercées sur le littoral.

D'un point de vue géomorphologique, le littoral Sud breton demeure un secteur extrêmement hétérogène, où se succèdent différents ensembles de formes littorales caractérisées par une exposition différente par rapport aux houles et vents dominants. A l'échelle régionale, plusieurs entités morphologiques se distinguent les unes des autres, caractérisées par des degrés d'exposition différents par rapport aux houles et vents dominants. D'Ouest en Est, il est possible de distinguer le système dune-plage qui s'étend de Gâvres à Penthièvre, exposé Sud-Ouest, la presqu'île rocheuse de Quiberon exposé Ouest, la baie de Quiberon caractérisée par une alternance de falaises meubles et de systèmes dunes-plages, le Golfe du Morbihan, les falaises rocheuses et les plages de poches de la presqu'île de Rhuys et les systèmes dunes-plages de l'anse de Suscinio, exposés Sud.

Par ailleurs, depuis les années 1950, l'attractivité et la croissance démographique de ces littoraux augmentent fortement, entraînant une artificialisation croissante du trait de côte. Associée essentiellement à des activités résidentielles et touristiques, les contraintes anthropiques exercées sur ces littoraux ne sont pas négligeables.

## **CHAPITRE 3 : PRESENTATION DETAILLEE DES CINQ SYSTEMES LITTORAUX RETENUS POUR L'ANALYSE**

La description générale des littoraux, effectuée à l'échelle sub-régionale, a permis de mettre en évidence les caractéristiques communes des littoraux Sud bretons, mais également leur forte hétérogénéité. Afin de pouvoir analyser leur comportement géomorphologique sur les court et long termes, le linéaire côtier a été divisé en différents secteurs, en cohérence avec les contraintes morphologiques et hydrodynamiques présentées au sein du chapitre précédent. Le découpage effectué est basé sur deux critères principaux : l'orientation du trait de côte à l'échelle régionale par rapport aux contraintes hydrodynamiques et la morphologie de la côte. Il reprend les différentes entités morphologiques présentées en synthèse au chapitre 2. Cinq secteurs ont été sélectionnés de manière à identifier cinq types différents de systèmes côtiers, représentant chaque type de côte présent en Bretagne Sud. D'Ouest en Est, les systèmes identifiés sont le massif dunaire Gâvres-Penthièvre, la façade Ouest de la presqu'île de Quiberon, la baie de Quiberon, le Golfe du Morbihan, les plages de la presqu'île de Rhuys.

### **I. LE MASSIF DUNAIRE GAVRES - PENTHIEVRE**

Ce premier secteur est situé à l'Ouest de la zone d'étude. Il est constitué d'un vaste système dunaire (*carte I.6*), accroché au Nord-Ouest à la pointe rocheuse de Gâvres. Le système dunaire décrit une large courbe orientée Nord-Ouest/Sud-Est et vient buter sur la partie rocheuse de la presqu'île de Quiberon, au-delà de l'isthme de Penthièvre.

L'orientation de la ligne de rivage par rapport aux houles et vents dominants laisse supposer l'existence d'une dérive littorale redistribuant les sédiments parallèlement au rivage, également mise en évidence par les travaux de Bos et Quélenec (1988), Migniot (1989).

La pointe de Gâvres est constituée de falaises formées dans du granite profondément altéré, ne dépassant pas 3 mètres d'altitude, en moyenne (Photo I.1). Dans la partie la plus occidentale de la pointe, des dunes grimpantes, *climbing dunes*, se sont mises en place sur les falaises. De nombreuses traces d'érosion ont pu être observées dans ce secteur : les falaises, élaborées dans du matériel altéré fournissent des sédiments aux plages qui se développent, en contrebas, dans les espaces les plus abrités. Au Nord, le massif dunaire est bordé par la petite mer de Gâvres, isolée de l'océan par l'isthme de Gâvres.



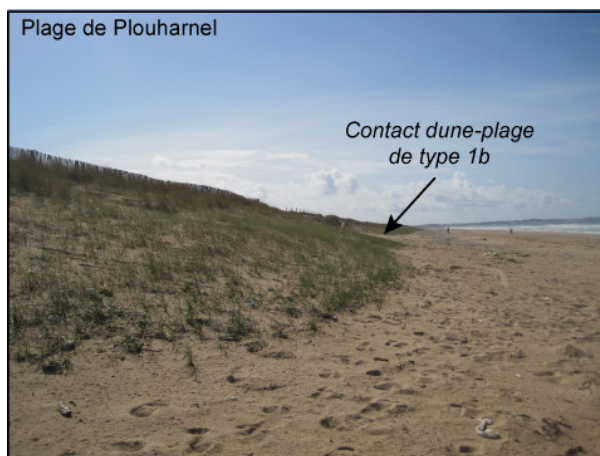
Les plages du massif dunaire sont composées de matériaux sédimentaires caractérisés par une granulométrie hétérogène (Estournes, 2007, 2008). Au Nord, les sables sont grossiers, au large d'Etel, la granulométrie est composée de graviers et de sables grossiers. Plus au Sud, les sables sont moyens et fins.



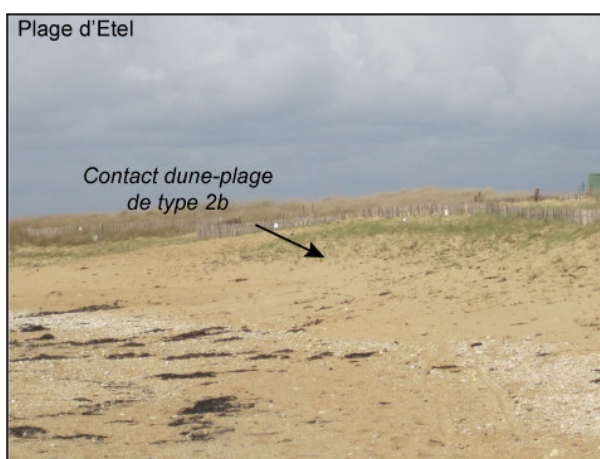
*Photo I.1: Photographie d'une falaise située sur la pointe de Gâvres.*

Les données topographiques discutées au sein de la partie III ont permis de mettre en évidence que les plages sont pour la plupart caractérisées par des pentes réfléchissantes à intermédiaires. Excepté au Nord du massif, au niveau de Gâvres, et au Sud, au niveau de Penthièvre, où la plage est adossée à un mur de défense contre la mer, les plages sont adossées à des dunes bordières et la dune végétalisée s'étend sur des surfaces importantes vers l'intérieur des terres. A proximité des parkings permettant un accès aux plages les plus fréquentées, tel à Kerminthy ou Kerhillio, les dunes sont protégées par des barrières de ganivelles. La hauteur des dunes bordières est comprise entre 1m et 2m en moyenne et excède localement 2m, par exemple au niveau de la plage de la Falaise. Les contacts entre la dune et la plage sont assurés par un versant légèrement convexe face à la mer, de type 1b et 2b (Chapitre 1). Le type 1b est plus fréquent au Sud du massif dunaire (Photo I.2). Le type 2b est plus représenté sur les plages du Nord et du centre du massif dunaire (Photo I.3). Localement, le versant externe de la dune bordière est marqué par des formes d'érosion. Sur les plages du Mentor (Photo I.4), au Sud du massif, de Kerouriec, d'Etel Ouest, en Avril 2010, ou de Kerminthy en Décembre 2007, le front de dune est taillé en falaise dunaire (type 3 – chapitre 1).

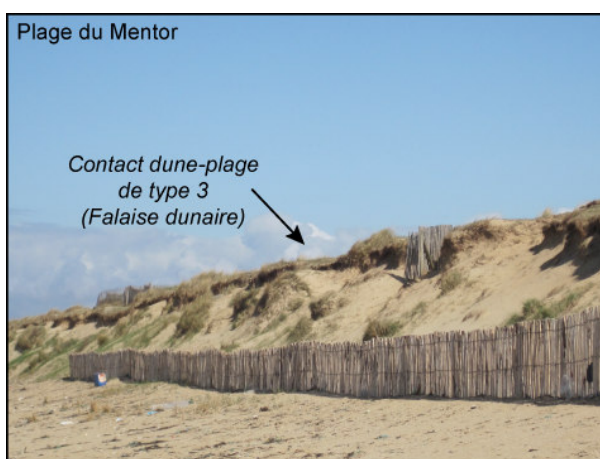




*Photo I.2 : La plage de Plouharnel (Avril 2010)*



*Photo I.3 : La plage d'Etel (Avril 2010)*



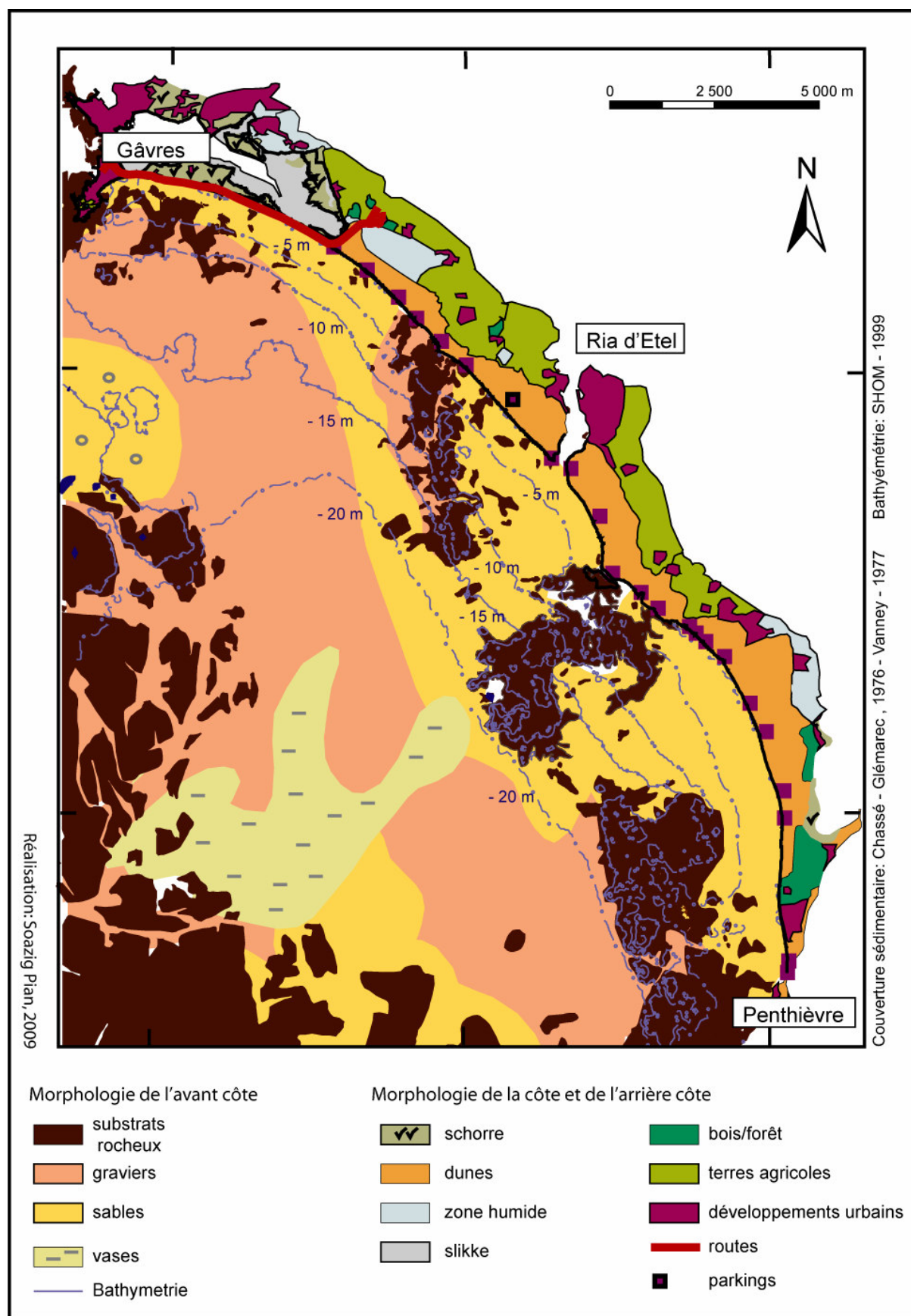
*Photo I.4 : La plage du Mentor (Avril 2010)*

Entre la côte et l'isobathe – 20 m, les fonds sont recouverts de sables, et au Nord de graviers, encastrés dans de nombreuses zones de roches. Au-delà de l'isobathe – 20m, les plaquages de graviers deviennent plus importants (Carte I.6).

Au Sud de la ria d'Etel, des plaquages de vases et de sables sont également mis en place. Ces dépôts sédimentaires viennent rapidement buter sur des zones de roches, qui signalent la présence de la barrière rocheuse identifiée dans la section précédente. Cette barrière rocheuse est entaillée par une brèche, située au droit de la ria d'Etel, et interprétée par Menier et al. (2006) comme une paléovallée.

Les pressions anthropiques sont particulièrement importantes au Nord du massif dunaire et au niveau de la pointe de Gâvres, entièrement urbanisée. Plus au Sud, le massif dunaire appartient à un domaine militaire. Toutefois, de nombreux parkings, dont certains sont signalés sur la carte I.6, sont aménagés dans la dune grise. Dans ces secteurs, la dune est parcourue par de nombreux chemins piétons permettant l'accès aux plages, très fréquentées, notamment durant la période estivale. Les pressions exercées sur le système littoral résultent principalement du développement des usages récréatifs sur les plages et dans la dune. A titre d'exemple, au niveau de la plage de Kerhillio, la fréquentation du système dune plage s'élève à environ 50 000 personnes par jour durant la période estivale (*Begue, et al., 1999*).

Le massif dunaire Gâvres – Penthievre s'apparente ainsi à un vaste système dune-plage où la dynamique des plages et du trait de côte est sensible à l'action des courants de houles réfractées par la barrière rocheuse. Dans ce contexte, le concept de cellule sédimentaire paraît pertinent pour appréhender l'évolution du trait de côte. Les pressions anthropiques y sont importantes et se traduisent principalement par le développement des usages récréatifs (*Pian, et al., 2008*).



Carte I.6 : Cartographie de la morphologie du secteur Gâvres - Penthièvre.

## II. LA FAÇADE OUEST DE LA PRESQU'ÎLE DE QUIBERON

La façade Ouest de la presqu'île de Quiberon constitue le second secteur identifié le long du littoral Sud breton. Il est constitué d'un système de falaises, globalement orientées Ouest, excepté dans la partie Sud de la presqu'île où les orientations dominantes sont Sud et Sud-Est. Le type de falaise le plus représenté correspondant au type 4 discuté au sein du chapitre 1, mais les types 3 et 2 sont également présents aux extrémités Nord et Sud de la presqu'île. Dans ces secteurs, les falaises, taillées dans des matériaux meubles, sont établies sur un platier rocheux, souvent affleurant. Dans la partie centrale de la presqu'île, les falaises sont constituées de roches granitiques et métamorphiques (Sellier, 2009), et s'inscrivent dans un plan incliné Nord/Sud. Il en résulte que les altitudes les plus élevées se situent au Nord, où la hauteur des falaises avoisine 15m (Carte I.7).

Aux pieds des falaises, des criques se sont développées, telles les plages du Foso ou de Porz Guen (Photo I.5). Les campagnes terrain menées entre Octobre 2006 et Décembre 2006 ont permis de caractériser la granulométrie de ces plages. Elles sont caractérisées par une granulométrie mixte, mêlant sables, graviers et galets. Certaines d'entre elles sont adossées à des massifs dunaires, souvent protégés par des systèmes de ganivelles. Les dunes embryonnaires assurant le contact dune-plage ne comportent pas de traces d'érosion.



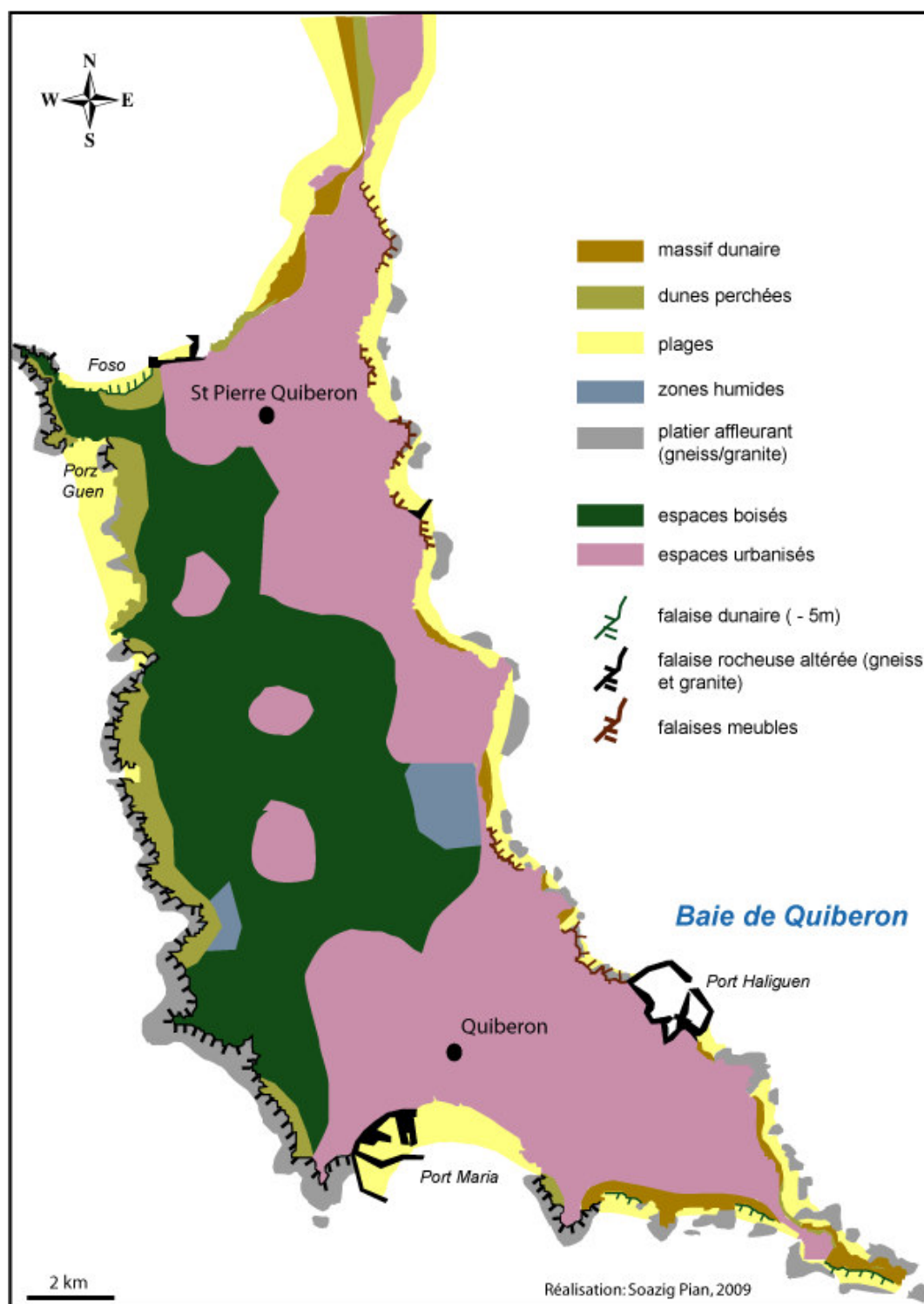
*Photo I.5: Photographie d'une plage de poche, développée aux pieds des falaises de la Presqu'île de Quiberon (Février 2007).*

Au pieds des falaises, les isobathes sont très resserrées, témoignant de fortes pentes sur la plateforme continentale, en contrebas desquelles sont déposés des plaquages de matériaux grossiers, tels que des graviers (carte I.1). Ces dépôts sont encastrés dans des zones de roches qui signalent la présence, au Nord, du plateau des Birvideaux et au Sud, de Belle Ile. Cette barrière rocheuse est entrecoupée par la passe de la Teignouse, orientée Nord-Ouest, et située au droit du Sud de la Presqu'île (carte i.1).

Ainsi, ces falaises sont directement exposées à l'action des houles dominantes, notamment au Sud de la presqu'île. Toutefois, le recul de la côte est contrôlé par un complexe de facteurs parmi lesquels la structure géologique et l'altération de la roche par les eaux de pluie jouent un rôle non négligeable (*Gastine, 2005*).

Par ailleurs, les pressions anthropiques sont très importantes. Ce système littoral est extrêmement aménagé et fréquenté : un chemin côtier et une route sillonnent l'ensemble du pourtour des falaises. En arrière de la route, plusieurs parkings sont aménagés, certains pour accueillir les camping cars. La fréquentation du site, en période estivale mais également hivernale, est importante et concourt à accroître la sensibilité de la falaise aux processus d'érosion subaériens (*Van Waerbeke, 1999, French 2001*). Toute la partie Sud et Nord-Est de la presqu'île est entièrement urbanisée. La fréquentation des bourgs de Quiberon et Saint Pierre Quiberon est extrêmement importante durant la période estivale.

D'une manière générale, la face Est de la presqu'île de Quiberon s'apparente à un système de falaises rocheuses, exposées aux houles et vents dominants, notamment dans sa partie Nord-Ouest. Le recul de ces falaises apparaît contrôlé par un ensemble de facteurs naturels (contraintes géologiques, érosion gravitaire, abrasion marine ...) auxquelles s'ajoutent les pressions anthropiques exercées sur le sommet des falaises.



Carte I.7 : Cartographie de la morphologie de la presqu'île de Quiberon.



### III. LA BAIE DE QUIBERON

La baie de Quiberon constitue le troisième secteur identifié le long du littoral Sud breton. Elle se situe dans la partie occidentale du Mor Bras, et s'étend vers l'Est jusqu'au méridien de Hoëdic (Vanney, 1977). Elle est décrite par Vanney (1977) et Jussy et Guilcher (1962) comme un espace abrité derrière la Presqu'île de Quiberon, et une chaîne d'îles et de plateaux rocheux, tels Houat, Hoëdic ou la chaussée des Cardinaux. La principale brèche, qui vient interrompre cette barrière rocheuse, est située entre les Cardinaux et le Four (carte i.I). La baie s'apparente ainsi, dans son ensemble, à un système semi-fermé, orienté Sud-Est et par conséquent peu exposé aux houles de l'Atlantique. Elle est constituée de côtes basses, caractérisées par des amplitudes inférieures à 5 m, excepté à l'entrée du Golfe du Morbihan où les altitudes des falaises du Petit Mont sont supérieures. En fonction de l'orientation et de la morphologie de la côte et de l'avant côte, trois types d'espace ont été identifiés au sein de la baie de Quiberon (Carte I.8):

#### La côte orientée Est de la presqu'île:

Elle est constituée de falaises meubles de faible amplitude (< 5 m), élaborées dans des altérites et recouvertes d'une végétation souvent arbustive ou buissonnante. Adossés à ces falaises, des cordons sableux se sont mis en place. Vers le Nord de la presqu'île, les plages sont adossées à des massifs dunaires protégés par des barrières de ganivelles. Le front dunaire est caractérisé par un versant convexe bien conservé excepté à proximité du camping Les Bois d'Amour, où le versant est entaillé par de nombreuses brèches d'origine éolienne ou anthropique, et où la végétation dunaire devient plus clairsemée. Au Nord de la flèche sableuse de Pen Er Lé, qui barre la baie de Plouharnel, des formations type schorre et slikke sont mises en place (Carte I.7).

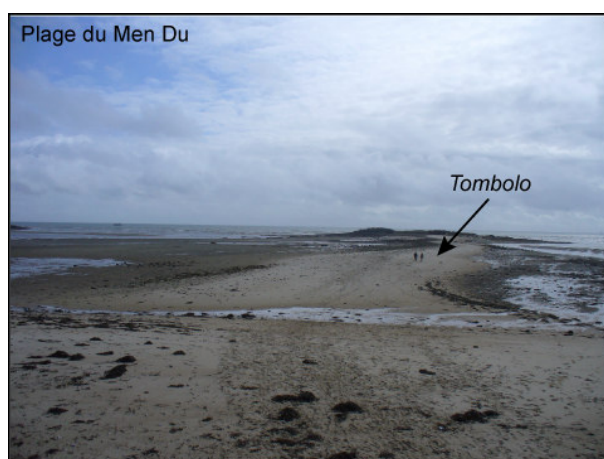
#### Les systèmes sableux du centre de la baie:

La partie centrale de la baie est caractérisée par des côtes sableuses, constituées de systèmes dunes-plages. Elle est découpée par de nombreuses rias, et à l'Est, par la rivière d'Auray. Les plages de Ty Bihan, Légenesse ou Carnac se sont ainsi développées à l'Ouest des rias du Crac'h et de Saint Philibert. Les rias sont bordées par des falaises meubles, inférieures à 5 m. Dans le fond des rias, des schorres se sont mis en place. Les plages de Ty Bihan et de Légenesse sont adossées à des murs de défense contre la mer, en arrière desquels sont installés une route, des espaces de stationnements et des habitations. A Carnac, la plage est adossée à un massif dunaire fortement anthropisé, protégé vers les terres et vers la mer par des barrières de ganivelles (Photo I.6). L'accès à la plage est canalisé par des chemins également protégés par des barrières de ganivelles. Les dunes bordières ont des altitudes assez faibles, inférieures à 1m, et le contact dune-plage dominant est de type 1a et localement de type 2a.

Au niveau de la plage du Men Du, un tombolo est mise en place entre la plage et un îlot rocheux situé au Sud, face à la plage. Le tombolo s'étend sur plus de 400m de long et 20 m de large. Il est formé d'une fraction sédimentaire hétérogène, composée de sables fins, de sables moyens et de galets (PhotoI.7).



*Photo I.6 : Plage de Carnac (Avril 2010)*



*Photo 1.7 : Tombolo de la plage du Men Du (Mars 2007)*

#### Les plages situées au Sud-Est du Golfe du Morbihan:

Ces plages, orientées Nord-Ouest /Sud-Est, et situées entre les affleurements rocheux du Petit Mont et de la presqu'île de Rhuys, s'inscrivent dans la continuité du tracé du relief de la baie. L'orientation de la presqu'île de Rhuys, sur laquelle viennent buter ces plages, rappelle, en effet, l'orientation des affleurements rocheux, situés entre le Petit et le Grand Mont, qui ont servi à Vanney (1977) pour délimiter l'extension orientale de la baie de Quiberon, repensée dans le cadre de ce travail. A l'Est du Golfe, les falaises du Petit Mont dépassent 5m d'altitude et sont élaborées soit dans des roches métamorphiques, soit dans des matériaux granitiques.



Dans les deux cas, la roche en place est profondément altérée, et favorise l'érosion gravitaire des falaises.

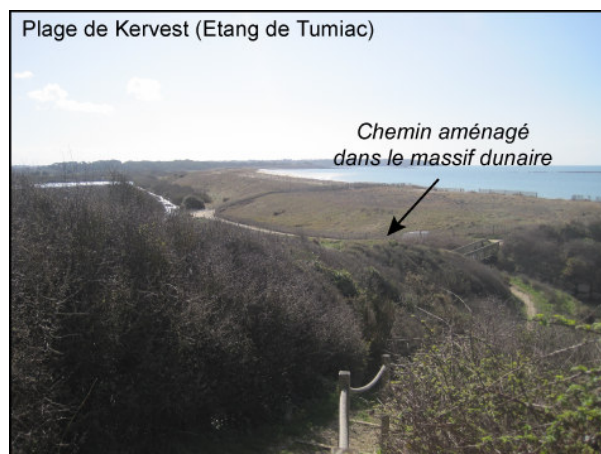


Photo I.8: Massif dunaire de Kervest - Etang de Tumiac (Avril 2010)



Photo I.9 : Plage des Govelins (Avril 2010)

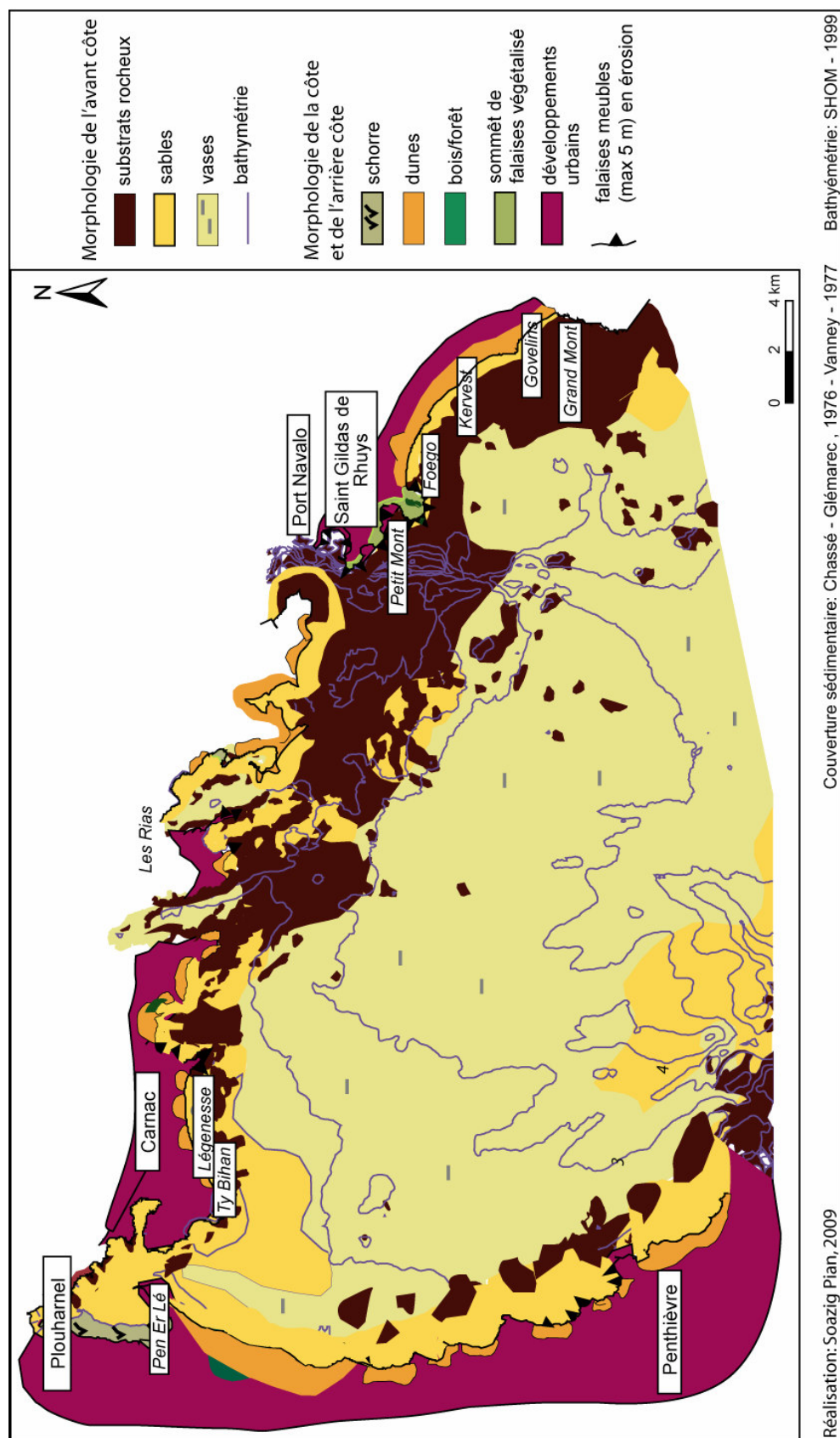
Les plages du Foego, de Kervest et des Govelins sont composées de matériaux sableux et sont adossées à des massifs dunaires ou des falaises meubles élaborées dans des altérites. Les fronts dunaires sont protégés par des ganivelles et des enrochements. Au Foego, les contacts entre la dune bordière et la plage, assurés par une pente douce entièrement colonisée par une végétation de type *amophilia arenaria*, sont de type 1b. A Kervest, au niveau des étangs de Tumiac, la morphologie du versant externe de la dune bordière est plus érodée (Type 2b). Dans ce secteur, le massif dunaire est entièrement artificialisé (Photo I.8): les zones humides sont délimitées par des talus artificiels sur lesquels sont aménagés des chemins canalisés par les ganivelles. En arrière des zones humides, le terrain est rehaussé, nivelé et des lotissements y sont implantés. Plus au Sud-Est de la plage de Kervest et sur la plage des Govelins, le front dunaire est taillé en falaise dunaire (Type 3) en arrière des enrochements (Photo I.9). Sur ces plages, la hauteur des dunes bordières est comprise entre 1.50m et 2m.

A proximité des côtes, entre l'isobathe 0 et -5m, l'estran de la baie est composé d'un platier rocheux, souvent affleurant, recouvert de sédiments sableux (carte I.8), parfois composés d'une fraction vaseuse. A l'Est des plages de Carnac, on trouve des matériaux plus grossiers type graviers. A partir des isobathes – 15m et – 20m, une barrière de hauts fonds, dont la presqu'île de Quiberon constitue la partie émergée, contribue à atténuer l'effet des houles océaniques. En raison de la configuration morphologique et bathymétrique à l'échelle de la baie, la zone de fetch est importante. Elle s'étend sur plus de 12 km du Nord au Sud et sur plus de 20 km d'Ouest en Est. Les profondeurs bathymétriques sont comprises entre -5m et -20m.

Par ailleurs, les pressions anthropiques exercées sur le littoral de la baie sont importantes. Le trait de côte est fortement artificialisé, notamment au centre de la baie, au niveau des plages de Carnac. Des infrastructures sont installées sur la dune grise, par exemple au niveau de la flèche de Pen Er Lé qui est aménagée dans sa totalité en camping. Le long de la côte Est, et dans les rias, le littoral est occupé par des activités ostréicoles. Le front de dune des plages situées à l'Est de l'entrée du Golfe est protégé par des enrochements et des ganivelles.

La baie de Quiberon est une côte peu battue, bien protégée des houles et vents dominants. Dans son ensemble, ce secteur s'apparente à un système mixte, marqué par la présence de petites falaises altérées et de cordons sableux constituant des systèmes dunes-plages. Les massifs dunaires sont fortement dégradés et souvent artificiellement stabilisés. Plusieurs entités peuvent être identifiées au sein de cet espace: les plages du centre de la baie, les rias, la baie de Plouharnel, les falaises de la face Est de la presqu'île. De manière synthétique, deux entités se distinguent nettement l'une de l'autre:

- Une partie occidentale où la circulation sédimentaire est largement contrainte par la passe de la Teignouse (carte i.1)
- Une partie orientale dont l'évolution dépend étroitement de l'accélération des courants de marée de l'entrée du Golfe du Morbihan, située à l'Est de l'alignement rocheux défini par le Petit Mont et le Grand Mont.

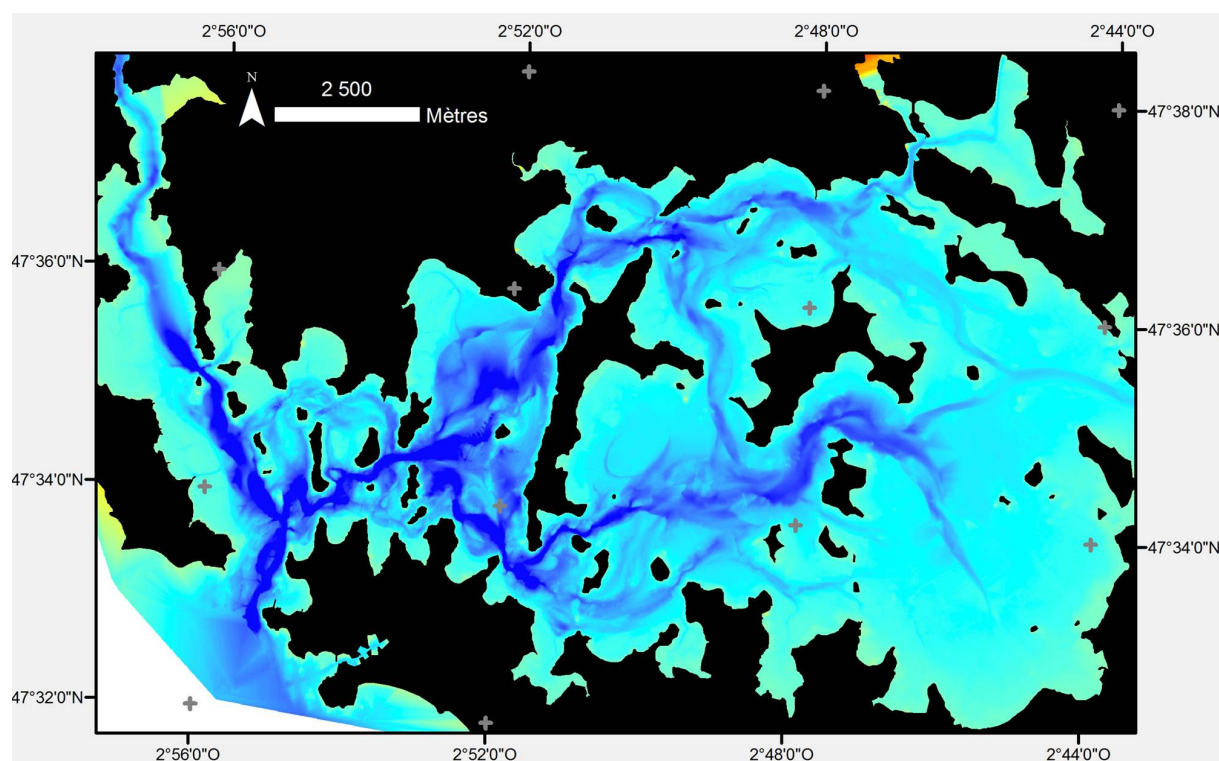


Carte I.8: Cartographie de la morphologie de la baie de Quiberon.

#### IV. LE GOLFE DU MORBIHAN

Le Golfe du Morbihan est le quatrième secteur identifié le long du littoral. Situé à l'Est de la baie de Quiberon, il s'apparente à une enclave littorale, interrompant à peine la continuité de la ligne de rivage de la baie. Généralement décrit comme '*une petite mer intérieure*', le Golfe fonctionne, en réalité, d'un point de vue géomorphologique, comme un estuaire (Pian, 2006), contrôlé par trois rivières principales : les rivières d'Auray, de Vannes et de Navalo. Il communique avec la pleine mer au niveau du goulet de Port Navalo. Ce point de passage entre les eaux du Golfe et celles de l'océan est très étroit, environ 900m, et conditionne en grande partie son fonctionnement hydrosédimentaire (Marcos *et al.*, 1996). Les houles de l'Atlantique n'y pénètrent pas, et seuls les courants de marée, auxquels s'ajoute l'action d'une mer de vent, sont susceptibles de modeler la morphologie de cet espace.

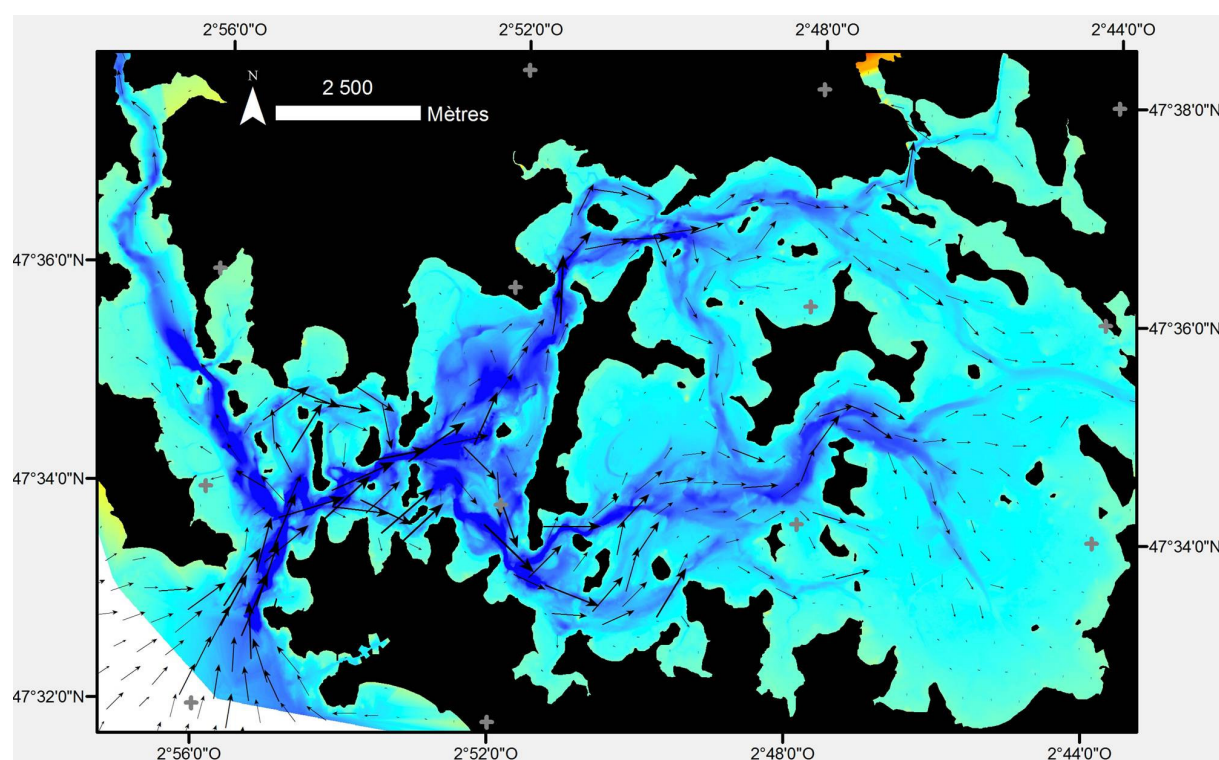
Les profondeurs bathymétriques sont peu importantes dans le Golfe. A l'entrée du Golfe, les profondeurs les plus importantes sont de l'ordre de -30m. Vers l'Est, les profondeurs sont comprises entre -10m et -1m (carte I.9). Les vitesses des courants de marée, accélérés par l'étroitesse de la passe de Port Navalo, sont importantes et peuvent atteindre, à l'entrée du Golfe, une valeur maximale théorique de 9 nœuds pour une marée de coefficient théorique de 120 (Marcos *et al.*, 1996).



Carte I.9 : Cartographie de la bathymétrie du Golfe - Données SHOM in Dubois, 2007



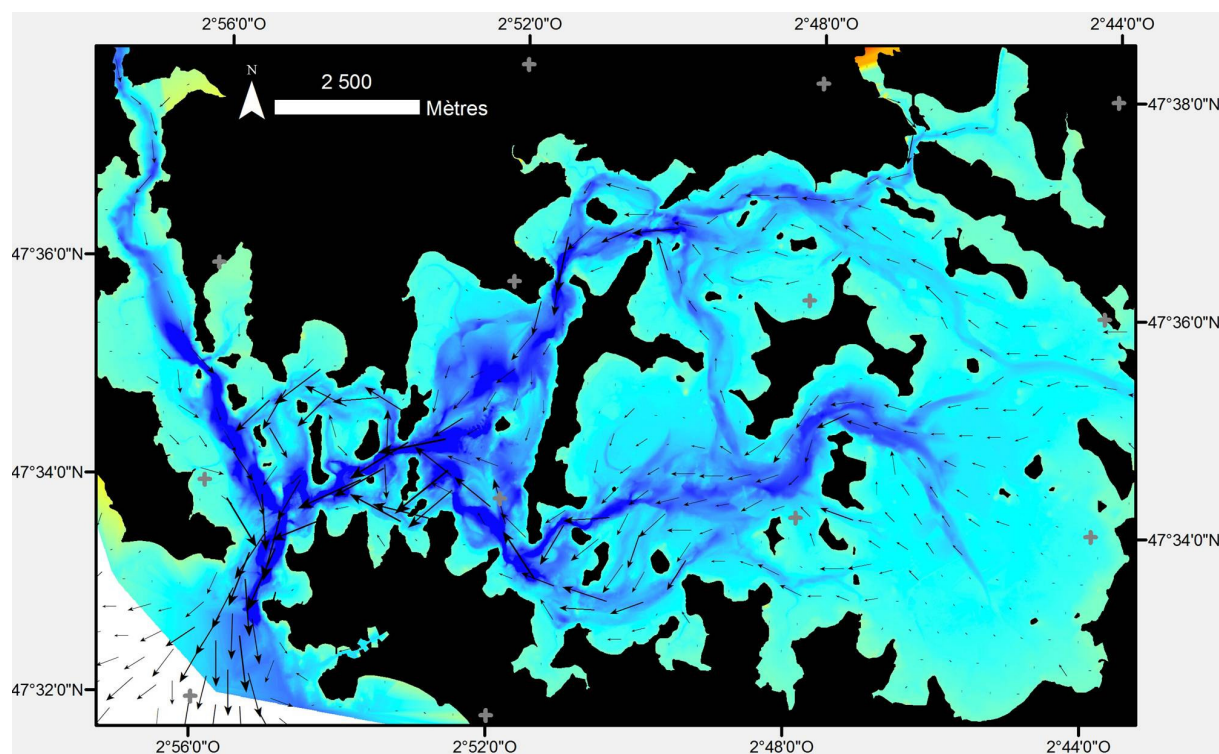
La circulation des courants au sein du Golfe est très complexe, largement influencée par les héritages quaternaires qui ont dessiné le réseau de chenaux actuels, et dominée par un complexe jeu de courants, contre-courants et tourbillons, résultant en partie des décalages spatio-temporels caractérisant le déroulement du cycle de la marée (*Pian, 2006*). Celui-ci est en effet très perturbé et enregistre un fort décalage temporel ainsi que des pertes d'amplitudes, pouvant atteindre 50% vers l'intérieur du Golfe (*Marcos et al., 1996*). De manière schématique, il existe un décalage temporel d'environ deux heures entre la pleine mer à Vannes et Port Navalo. La configuration bathymétrique, quant à elle, interfère avec la vitesse des courants et les modalités de transport sédimentaire. Ainsi, dans l'Ouest, les hauts fonds ont tendance à freiner les courants violents nés à l'entrée du Golfe et modifient leur capacité de transport sédimentaire (Carte I.10 – Carte I.11).



Carte I.10 : Courants de flot dans le Golfe (coefficient 95) - Données SHOM - in Dubois, 2007.

La combinaison des données topographiques, sédimentaires, géomorphologiques et hydrologiques a conduit à diviser le Golfe en trois unités hydrosédimentaires (*Marcos et al, 1996, Caroff, 1998, Pian, 2006*):

L'entrée du Golfe est caractérisée par des courants forts, des sédiments grossiers, et un relief relativement bien marqué. Le trait de côte est constitué de falaises, élaborées dans des matériaux altérés, reposant sur un socle granitique ou métamorphique, dont la hauteur maximale approche 10 m et la hauteur moyenne 5 m.



Carte I.11 : Courants de jusant dans le Golfe (coefficient 95) Données SHOM- in Dubois, 2007.

Le bassin occidental, situé à l'Ouest de l'Île aux Moines, est caractérisé par un relief moins marqué. Le pourtour du Golfe est composé principalement de falaises, taillées dans des horizons d'altération, dépassant rarement 5 m à 6 m d'altitude. Entre 1952 et 2000, le sommet des falaises enregistre des vitesses de recul importantes (Pian et al., 2007). La force et les vitesses des courants de marée décroissent à mesure que l'on s'éloigne de l'entrée du Golfe.

Dans ces deux espaces, les falaises sont recouvertes d'un sol peu épais (1m maximum), colonisé par une végétation buissonnante, arbustive ou arborée. Elles correspondent aux types de falaises 2 et 3a (chapitre 1), sans la présence de platier rocheux (Photo I.10). L'altération des falaises contribue à produire une arène granitique qui alimente des cordons sableux, formant d'étroites plages au pied des falaises, composées de matériaux moyens et grossiers. Ces sédiments sont redistribués, localement, par le double jeu des courants de marée et de mer de vent.



*Photo I.10: Photographie de deux falaises de hauteurs différentes dans le Golfe du Morbihan (Juin 2007)*

A l'est de l'île aux Moines, s'étend l'espace le plus abrité du Golfe. Les courants de marée sont moins forts, et caractérisés par des capacités de mobilisation et de transports de sédiments moins importantes. Le relief est plus atténué. Le trait de côte est composé de petites falaises meubles, inférieures à 5m, et de micro falaises, inférieures à 1m (Pian, 2006). Ces micro falaises sont taillées dans des formations, type schorre, ou élaborées à partir de talus, composé d'une fraction terrigène et d'altérites. Elles correspondent au type de falaise 1 (chapitre 1). La conjonction de ces deux facteurs a favorisé les processus de sédimentation et le développement de larges vasières (Marcos *et al.*, 1996), composées de matériaux argileux ou argileux silteux. Progressivement colonisées par la végétation, type Spartine ou Salicorne, elles ont pu donner naissance à des schorres, dont l'épaisseur dépasse parfois 20 cm (Photo I.11). Les surfaces couvertes par les schorres connaissent d'importantes évolutions (érosion/accrétion) entre 1952 et 2000 (Pian *et al.*, 2007).



*Photo I.11: Marais maritime et surface couverte par un schorre dans le Golfe du Morbihan (Mai 2008)*

De manière générale, les falaises du Golfe sont colonisées par une végétation non halophile. Elles sont soit occupées par des terres agricoles, soit transformées en propriétés privées à usage résidentiel.

Dans ce cas, des arbres ornementaux ont été plantés sur le sommet des falaises. Très souvent, les falaises sont longées par des sentiers côtiers, qui s'enfoncent parfois dans les terres pour contourner les propriétés privées. Environ 40% du trait de côte est complètement ou partiellement artificialisé. Enfin, le développement des activités ostréicoles, initié dans les années 1860, s'est intensifié après les années 1950 (*de Kergariou, 1996*).

Le Golfe du Morbihan constitue un système côtier original, abrité des houles océaniques et fortement soumis aux contraintes hydrodynamiques contrôlées par les courants de marée. Ce secteur s'apparente à un système de falaises meubles de faible amplitude (1m - 10m), bordées par un estran sableux puis vaseux où des marais maritimes observant la succession classique d'un schorre et d'une slikke sont mis en place. Les formes littorales les plus mobiles dans cet espace entre 1952 et 2000 sont les sommets des falaises jalonnant le Golfe ainsi que les surfaces couvertes par les schorres, s'achevant en micro falaises (*Pian et al., 2007*). Dans ce contexte, le Golfe du Morbihan a été défini comme un système de falaises, inférieures à 10m, et de micro falaises.



## V. LA PRESQU'ÎLE DE RHUYS

La presqu'île de Rhuy s constitue le cinquième secteur étudié le long du littoral Sud breton, dans le cadre de ces recherches. Ce secteur a été délimité de la plage de Saint Jacques à la pointe de Penvins. Cette portion de la presqu'île de Rhuy s est constituée d'une succession de cordons sableux, délimités vers la mer par un platier, et adossés à terre contre de petites falaises, taillées dans des matériaux métamorphisés et altérés, ou des massifs dunaires. Les plages de Saint Jacques et de Port Jacques s'apparentent à des plages de poche, mises en place entre des promontoires rocheux, taillés dans des matériaux schisteux (Carte I.12a). Elles sont adossées à un mur de défense contre la mer et sont composées de matériaux sédimentaires caractérisés par une granulométrie mixte, plutôt grossière, constituée de sables grossiers, de graviers et de galets. Plus à l'Est, s'étendent les plages de Kerfontaine, du Rohaliguen et le domaine des Grèves de Suscinio, qui s'organisent en une succession de cordons sableux dont le développement est largement contrôlé par le platier et les roches affleurantes. Ces plages sont adossées à des dunes, souvent protégées par des ganivelles. A Kerfontaine et à l'Ouest de la plage du Rohaliguen, les fronts dunaires sont quasiment inexistantes (Photo I.12). Caractérisées par des altitudes faibles, inférieures à 1m, ils forment des terrasses, colonisées de manière discontinue par la végétation dunaire et prolongés vers les terres par des surfaces artificialisées vouées à des activités résidentielles. Le contact dune-plage est de type 4, et localement de type 1a (Chapitre 1). A proximité des noyaux d'urbanisation de Kérignard ou Tévenaste, les dunes sont nivelées, artificiellement stabilisées et urbanisées. A l'Est, la plage des Grèves de Suscinio vient buter sur la pointe de Beg Lann, taillée dans des altérites (Carte I.12a). Dans ce secteur, les dunes sont davantage développées (Photo I.13), mais les altitudes restent peu élevées, inférieures à 1m. Les dunes sont protégées par des barrières de ganivelles. Le contact dune-plage est de type 1a (Chapitre 1). A l'exception de la plage de Kerfontaine, caractérisée par une pente dissipative, ces plages sont caractérisées par des pentes réfléchissantes à intermédiaires (Partie III).



Photo I.12 : Plage de Kerfontaine (Mars 2008)



*Photo I.13 : Les Grèves de Susicinio (Avril 2010)*

A l'Est de la pointe de Beg Lann, s'étend l'anse de Susicinio qui dessine un tracé en courbe, orienté vers le Sud-Est, et s'achève au niveau de la pointe de Penvins. L'anse de Susicinio est constituée de plages, adossées à un massif dunaire à l'arrière duquel se sont développés des marais maritimes, pour partie anciennement poldérisés (carte I.12a). De manière générale, les plages qui constituent cet ensemble présentent une forte hétérogénéité d'un point de vue granulométrique alors que la fraction la plus grossière forme souvent des formes sédimentaires spécifiques (Photo I.14), tels des croissants de plage (Partie III). Les profils des plages, analysés et discutés au sein de la partie III, affichent des pentes réfléchissantes à intermédiaires. Ces plages sont adossées à des massifs dunaires bien développés et protégés par des barrières de ganivelles. D'une manière générale, le versant externe des dunes bordières est incliné en pentes convexes vers la mer. La transition entre la dune bordière et la plage est assurée par un contact de type 2a ou 2b, excepté sur les plages de Penvins et plus localement de Landrezac (Photo I.15) où le front dunaire est taillé en falaise dunaire, de type 3 ou 4 (Chapitre 1).



*Photo I.14: Croissants de plage à Landrezac (Octobre 2007)*



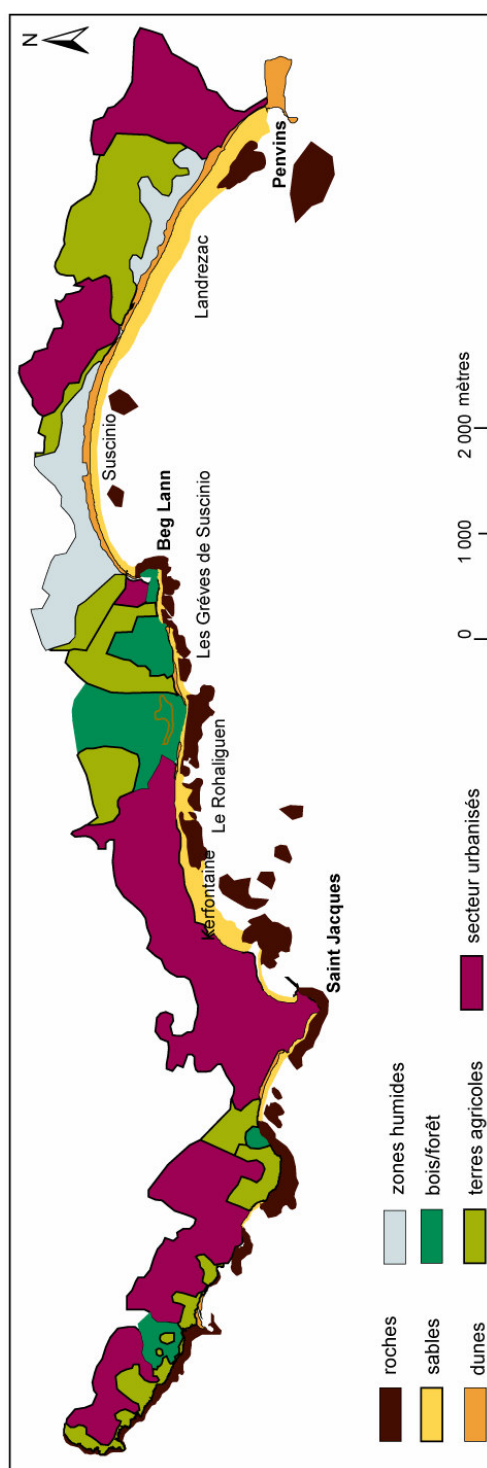
*Photo I.15: plage de Landrezac (Avril 2010)*

Entre ces cordons sableux et l'isobathe -10m / -15m, de nombreuses zones de roches sont établies sur les fonds. Elles constituent des platiers rocheux, dont la partie supérieure, à proximité des côtes, affleure à marée basse. Ces zones de roches et les platiers émergents concourent à complexifier les processus de transports hydrosédimentaires en favorisant une accélération des courants de marée et la formation de différents courants de dérive littorale. Encastrés entre ces roches, des plaquages sableux sont mis en place. Au-delà des isobathes -10 m/ -15m, les fonds sont recouverts de dépôt vaseux (Carte I.12b).

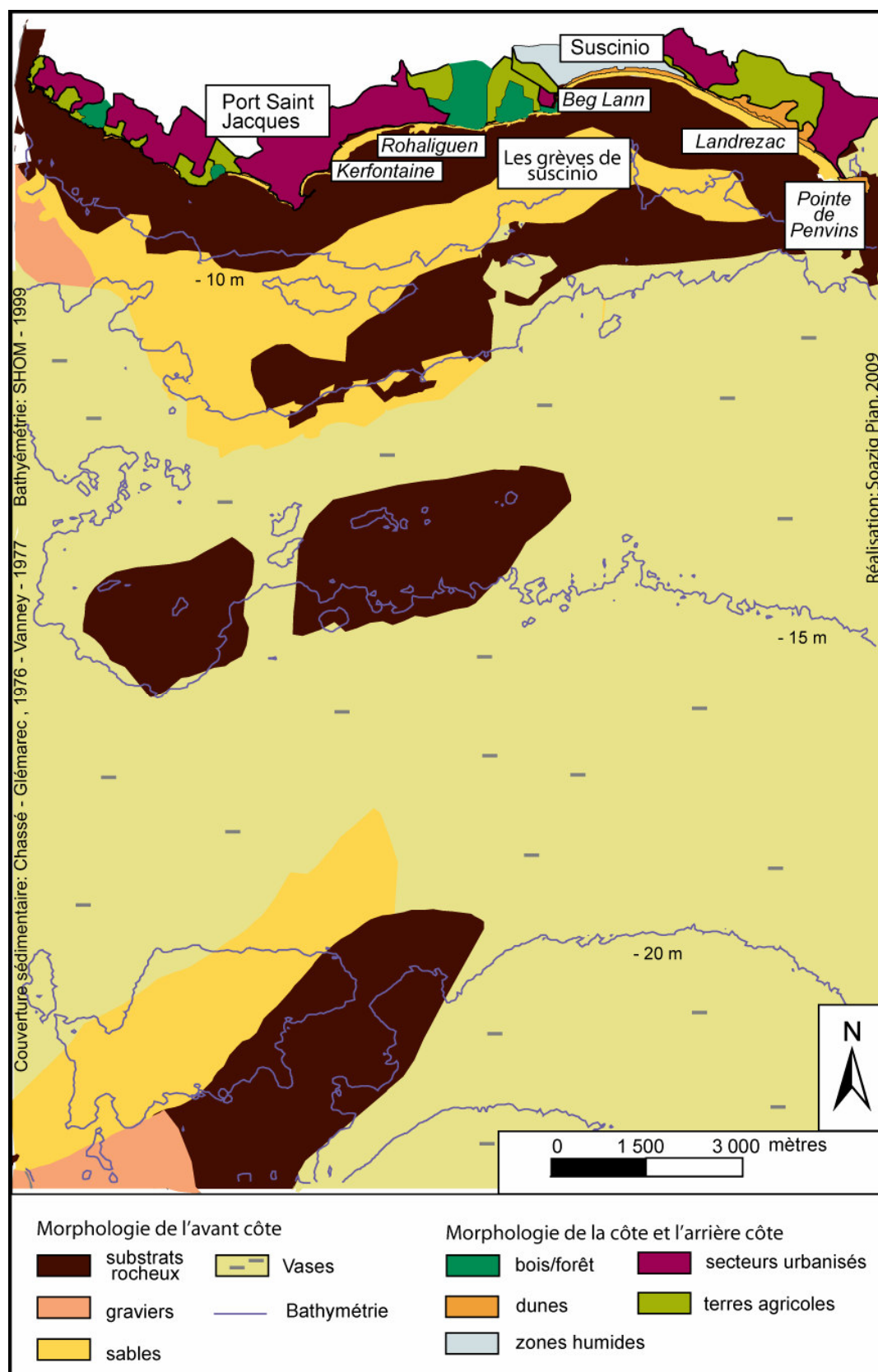
Plus vers le large, la présence de hauts fonds tels que le plateau de la Recherche, ou vers le Nord-Ouest, les îles de Houat, Hoëdic et Belle Ile confèrent à la côte une situation d'abri. Seules les houles provenant d'un secteur Sud peuvent atteindre directement la côte (carte i.1). Cette configuration bathymétrique et morphologique permet le développement d'une zone de fetch sur plusieurs kilomètres.

La pression anthropique est ancienne dans ce secteur, comme en témoignent par leur présence le château de Suscinio et les nombreux endiguements situés dans les marais maritimes. Actuellement, elle se marque par le développement de noyaux d'urbanisation, qui contribuent localement à stabiliser artificiellement le trait de côte, et par une fréquentation importante des plages durant la période estivale. D'une manière générale, la dune grise à l'arrière des plages est entièrement aménagée et entretenue de manière à favoriser le développement des usages récréatifs.

A partir de ces données, ce secteur a été défini comme un système dune-plage, largement contraint par la présence d'un platier affleurant et de zones de roche dans les petits fonds, qui contribuent à rendre complexes les processus de réfraction des houles. L'agencement de ces plages, encastrées entre des platiers affleurants le long de la presqu'île de Rhuy, leur confère une certaine originalité par rapport aux systèmes dunes-plages décrits précédemment.



Carte I.12a: Cartographie de la morphologie de la presqu'île de Rhuys : zone littorale



Carte I.12b: Cartographie de la morphologie de la presqu'île de Rhuys

Synthèse générale du chapitre 3:

Au total, deux systèmes dunes-plages, le massif dunaire Gâvres-Penthièvre, et la presqu'île de Rhuys (secteur Suscinio) ont été identifiés. Ces systèmes se distinguent l'un de l'autre par leur orientation et la morphologie de l'avant côte. Le massif dunaire, orienté Sud-Ouest, est directement exposé aux houles dominantes, bien que l'énergie délivrée par ces houles soit atténuée par leur passage sur la barrière rocheuse établie au-delà des isobathes -25m/-30m. Les plages de la presqu'île de Rhuys, quand à elles, sont davantage abritées des houles dominantes. De plus, la présence de platiers émergents et de zones de roches entre la côte et l'isobathe -20m leur confère une forte originalité susceptible de rendre complexes les processus de transports sédimentaires modulant l'évolution géomorphologique de ce secteur.

Deux systèmes de falaises ont également été identifiés : les falaises rocheuses de la presqu'île de Quiberon, exposées aux houles provenant du Sud-Ouest, et les falaises du Golfe du Morbihan, très abritées des houles océaniques et principalement taillées dans des horizons d'altération. Ces deux systèmes offrent deux exemples bien distincts de systèmes à falaises, différant de par leur géologie et les conditions hydrodynamiques susceptibles de contrôler leur évolution géomorphologique.

Enfin, la baie de Quiberon fait figure de système mixte, composé de falaises altérées, au pied desquelles se sont développés des cordons sableux et des systèmes dunes-plages. Les plages constituant cet espace ont fait l'objet d'une morphodynamique développée pour les autres systèmes dunes-plages (Partie III). L'évolution des falaises a été examinée à partir de l'analyse de la cinématique du trait de côte (Partie II).



### Conclusion de la Partie I

Cette première partie a permis de synthétiser une partie des données disponibles, relatives aux dynamiques continentales, littorales et anthropiques qui caractérisent les littoraux de Bretagne Sud. Ces derniers offrent un ensemble de sites originaux. En effet, espace hétérogène où se succède une variété de types de côte, le littoral méso à macro tidal de Bretagne Sud s'est développé dans un cadre morphologique marqué par la présence de hauts fonds entre les isobathes – 25m et – 50m. Ces hauts fonds lui confèrent à l'échelle régionale, une position d'abri, contrastant, à une échelle plus locale, avec l'orientation du trait de côte, exposé aux houles réfractées et aux vents dominants. De plus, les échanges sédimentaires entre la côte et l'avant côte s'effectuent essentiellement dans un espace confiné entre l'isobathe 0 et – 20 m, alors que les pressions anthropiques exercées sur le littoral s'accroissent depuis les années 1950 et entraîne une artificialisation de l'espace littoral. Dans les secteurs où l'extension des surfaces bâties a contribué à artificialiser et stabiliser la position du trait, ces pressions anthropiques ont réduit la capacité des formes littorales à migrer vers l'intérieur des terres (*Orford et al., 2002*).

Ainsi, l'ensemble des contraintes à la fois morphologiques, mais aussi anthropiques, qui définissent le littoral Sud breton contribuent à produire une espace disponible ou espace d'accueil (*Orford et al., 2002, Regnaud et al., 2010*) relativement restreint, au sein duquel l'analyse des risques côtiers nécessite une attention particulière.

## **PARTIE II : ANALYSE DU COMPORTEMENT GEOMORPHOLOGIQUE DES SYSTEMES LITTORAUX SUR LE LONG TERME**

La partie II a pour objectif d'analyser l'évolution du trait de côte au sein des cinq systèmes côtiers présentés dans la partie I, sur des pas de temps pluri-annuels, afin de caractériser leurs comportements géomorphologiques sur les long (environ 50 ans) et moyen termes. La mobilité du trait de côte, sur ces pas de temps, reflète la logique des processus érosifs et accrétifs qui déterminent l'évolution des formes littorales (*Shoshany et Dagani, 1992*). A partir de cette analyse et en identifiant les facteurs qui contrôlent ces mouvements, il est possible de modéliser le comportement géomorphologique d'un système littoral donné.

Au sein de la partie I, deux types de systèmes côtiers ont été identifiés : les systèmes de falaises et les systèmes dunes-plages. Au sein des systèmes dunes-plages, les mouvements enregistrés par le trait de côte ont été analysés à travers le prisme de la cellule sédimentaire qui permet d'appréhender et d'expliquer, à l'échelle régionale ou sub-régionale, les schémas de transports sédimentaires contrôlant les variations des formes littorales. La cellule sédimentaire constitue une entité spatiale au sein de laquelle les sédiments sont mis en mouvement, transportés et déposés, principalement sous l'effet des courants de dérive littorale. Initialement développé à partir des travaux de Stapor (1971), May et Tanner, (1973) ou Stapor et May, (1983), ce concept permet d'établir le budget sédimentaire d'entités géomorphologiques cohérentes par rapport à l'action des différents forçages contrôlant l'évolution de la zone littorale (*Byrnes, 1995, Bray, 1995, Costa, 2005, Dan et al., 2009*). Au sein des systèmes de falaises, une attention particulière a été accordée aux mouvements latéraux du trait de côte, correspondant au recul du sommet des falaises. De plus, pour chacun de ces types de système littoral, l'impact des pressions anthropiques exercées sur la côte a été intégré à l'analyse.

L'ensemble des analyses a été effectué à partir des fonctionnalités analytiques proposées par les Systèmes d'Information Géographiques (SIG), qui permettent d'analyser les relations spatiales entre les dynamiques marines et terrestres, d'une part, et les différents usages développés sur la frange littorale, d'autre part (*Ricketts, 1992*). Les SIG s'apparentent à des systèmes de bases de données élaborés pour gérer et traiter des données spatialement ou géographiquement référencées (*Star et Estes, 1990*). Ils permettent d'appréhender, de représenter et d'analyser des phénomènes complexes inscrits dans des systèmes spatiaux, territoriaux ou socio-environnementaux (*Pirot et Saint Gerand, 2005*) en faisant appel aux principes de l'analyse spatiale (*Simpson, 1989*).



En géographie littorale, l'utilisation des SIG est essentiellement consacrée à l'analyse de la gestion et de l'aménagement des usages et des pratiques associés à la frange côtière (*Crawley et Aston, 2003, Green et King, 2005, Pennober et Creuseveau, 2005, Pottier, 2005, Chapman, 2009, Rodriguez et al., 2009*), ou à l'évaluation et la gestion des risques côtiers (*Dobosiewicz, 2001, Gambolati et Teatini, 2002, Robin, 2005, Allen et al., 2006, Brown, 2006, Budetta et al., 2008*).

Bien que leur intérêt quant au développement de la connaissance du fonctionnement des systèmes côtiers soit largement reconnu (*Robin et Gourmelon, 2005*), peu d'études en géomorphologie littorale ont recours aux fonctionnalités analytiques proposées par les SIG. La plupart d'entre elles s'intéressent à l'évolution des surfaces topographiques à travers l'utilisation de modèles numériques de terrain (*Zeiler et al., 2000, Andrews et al., 2002, Humphries et Ligdas, 2003, Mills et al., 2005, Dawson et Smithers, 2010*). Toutefois, les SIG permettent également de gérer des bases de données spatiales à partir desquelles des systèmes de requête sont mis en place de manière à créer de nouvelles données, et d'améliorer la connaissance de l'évolution des systèmes littoraux. Ainsi, les travaux de Pennober, (1999, 2005), Raper et al., (2003), Ojeda Zujar, (2003), de La Torre et al. (2002) ou Schupp et al. (2005) s'appuient sur les principes de l'analyse spatiale pour identifier les contraintes naturelles qui contrôlent les dynamiques sédimentaires et les mouvements du trait de côte. De même, les travaux de Kitsiou et al. (2002), Priskin (2003) ou Chen et al. (2005) ont cherché à mettre en relation, à partir de bases de données spatiales, des données morphosédimentaires et morphodynamiques avec des données relatives à l'évolution de l'occupation du sol ou des usages associés à la frange littorale.

Au sein de cette partie un ensemble de connaissances relatives au fonctionnement géomorphologique des systèmes côtiers est ainsi développé à partir d'un ensemble d'analyses spatiales et de traitements statistiques. La partie II est divisée en trois chapitres (Chapitre 4 – Chapitre 5 – Chapitre 6). Le chapitre 4 explicite l'ensemble des choix méthodologiques effectués pour cartographier, quantifier et analyser la mobilité du trait de côte sur le long terme. Les résultats sont présentés au sein du chapitre 5, et discutés par la suite au chapitre 6, où l'occurrence des processus érosifs est mise en relation avec les fonctionnements géomorphologiques des systèmes côtiers et leur vulnérabilité face au risque d'érosion côtière.

## CHAPITRE 4 : ANALYSE DU COMPORTEMENT DES SYSTEMES COTIERS SUR LE LONG TERME : APPROCHE METHODOLOGIQUE

Le chapitre 4 présente l'ensemble de la démarche méthodologique adoptée pour quantifier, cartographier et analyser la mobilité du trait de côte, entre 1952 et 2004, au sein des cinq systèmes côtiers identifiés dans la partie I. Dans un premier temps sont présentés (I) les traitements réalisés à partir des photographies aériennes pour quantifier et cartographier les variations du trait de côte. Dans un second temps, les variations du trait de côte sont mises en relation, au sein d'une base de données spatiales, avec les potentiels facteurs susceptibles de contrôler ces variations. Les liens entre les différentes données sont examinés à partir d'un ensemble d'analyses spatiales (II). Enfin, dans un troisième temps, une série d'analyses statistiques est réalisée à partir des tableaux de données issus de la base de données spatiales (III).

### I. QUANTIFICATION ET CARTOGRAPHIE DE LA MOBILITE DU TRAIT DE COTE

Les variations de la position de la ligne du rivage ont été cartographiées et quantifiées à partir d'une analyse diachronique de photographies aériennes verticales. L'utilité des photographies aériennes en géomorphologie littorale a déjà été largement discutée dans la littérature scientifique (*Carter 1999, Robin, 2002b*). De nombreux travaux (*Durand, 1998, Klein et Zviely, 2001, Leatherman, 2003, Rugiero et al., 2003, Stephan et Suanez, 2004, Ferreira et al., 2006, Anfuso et al., 2007*) ont ainsi cherché à retracer l'histoire de l'évolution des formes jalonnant le littoral à partir de clichés aériens en quantifiant les variations de la position occupée par le trait de côte à travers le temps. Ce type d'analyse permet d'obtenir des données décrivant les grandes tendances du comportement géomorphologique des littoraux étudiés sur les long et le moyen termes.

#### I.1. Pré-traitements

Les variations du trait de côte ont été quantifiées à partir d'un corpus de clichés aériens, produits par l'I.G.N., comprenant des photographies aériennes verticales datant de 1952 et 1984/1985, ainsi que l'orthophotographie littorale 2000 et des dalles de la B.D. ortho 1999 et 2004.

Les clichés aériens de 1952 et 1984/1985, disponibles sous forme classique de papiers argentiques, sont marqués par de profondes déformations géométriques liées à l'inclinaison de l'appareil lors de la prise de vue, à des distorsions inhérentes à l'objectif et à l'émulsion photographique.

L'échelle des photographies aériennes n'est pas uniforme et enregistre de grandes variations, résultant des oscillations verticales de l'avion, du plan d'inclinaison, de l'angle de l'appareil utilisé, du relief et des déformations liées à la perspective (*Moore, 2000, 2002*). Leur utilisation en vue d'une cartographie de la mobilité du trait de côte nécessite de réaliser au préalable un certain nombre de prétraitements pour corriger ces déformations.

### 1.1.1. Numérisation des clichés aériens

Les photographies aériennes datant de 1952 et 1984/1985 ont été numérisées avec un analyseur à balayage. Lors de la numérisation, les précisions radiométriques et géométriques des images obtenues autant que le volume total de données créées sont déterminés par la résolution choisie (*Kasser et Egels, 2001*). Afin de conserver une bonne qualité d'image sans que le volume total de données soit trop important, les photographies aériennes des séries 1952 et 1985 ont été scannées, en fonction de leur échelle, avec une résolution pixellaire de respectivement 1000 et 1200 dpi. Une telle résolution a permis d'obtenir une taille de pixel infra-métrique, comprise entre 62 et 85 cm environ. Ces valeurs sont relativement proches de la taille du pixel de l'orthophotographie littorale 2000 et des dalles des B.D. ortho 1999 et 2004. Le tableau II.1 synthétise les principales caractéristiques des clichés utilisés.

Année	1952	1984/85	1999	2000	2004
Format du cliché	Argentique	Argentique	Dalles BD ortho IGN - ECW	Orthophoto littorale 2000 - ECW	Dalles BD ortho IGN - TIFF
Résolution/échelle	1/ 25 000  Scan : 1200 dpi	1/ 30 000  Scan : 1 000dpi	Pixel = 50 cm	Pixel = 50 cm	Pixel = 50 cm
Marée	Basse mer	Basse mer	Basse mer	Basse mer	mi-marée

*Tableau II.1: caractéristiques des clichés aériens utilisés pour l'analyse des variations du trait de côte*

### 1.1.2. Géo-rectification des clichés

Une partie des déformations géométriques affectant les photographies aériennes verticales est corrigée lors du processus de géo-rectification, basé sur l'utilisation de points de contrôle dont les coordonnées géographiques réelles sont connues. Ce processus a pour but d'attribuer à tous les points de la photographie scannée les valeurs des coordonnées géographiques leur correspondant, pour un système de coordonnées et de projection donnés. Pour corriger les déformations géométriques affectant l'échelle des photos aériennes, le cliché scanné est plus ou moins déformé suivant l'algorithme de transformation choisi pour convertir les valeurs des points du système de coordonnées cartésien à deux dimensions, dans lequel s'inscrit l'image, en coordonnées géographiques.

Les photographies aériennes ont été géo-rectifiées en utilisant la projection Lambert II étendu associé au système géodésique Nouvelle Triangulation Française (NTF), à l'aide du logiciel de géomatique ArcGis 9.2©. Les coordonnées des points de contrôle ont été obtenues à partir des orthophotographies 2000 et 2004. Une transformation du second degré a été appliquée. De manière générale, l'exactitude des corrections dépend non seulement de la qualité des points de contrôle, mais aussi de leur disponibilité (*Moore 2000, Kasser et Egels, 2001*). Au total, quinze à trente points de contrôle ont été identifiés pour chacun des clichés datant de 1952 et 1984/85.

Une fois géo-rectifiées, les photos aériennes de 1952 et 1984/1985 ont été assemblées en mosaïque afin d'obtenir, pour chacun des systèmes littoraux étudiés, des documents semblables aux orthophotographies. Les mosaïques ont été réalisées avec l'aide du logiciel Envi 4©. Seules les parties centrales des photographies ont été conservées.

La qualité métrique des mosaïques de 1952 et 1984/1985 n'est pas identique à celle caractérisant les orthophotographies. En effet, l'orthophotographie est le résultat produit par l'application de nombreuses méthodes de transformation de l'image permettant une correction complète des déformations faussant la métrique du document d'origine (*Kasser et Egels, 2001*). Les déformations inhérentes aux variations du relief sont prises en compte à l'inverse des processus de rectification précédemment décrits.

Sur une photographie aérienne verticale, les déformations liées au relief se traduisent de la manière suivante (Figure II.1): le point de nadir (n) est situé sur une droite perpendiculaire à la ligne du plan de vol et du sol. Il correspond au point situé juste à la verticale du centre de l'objectif. La position de ce point sur la photographie correspond à la position réelle de l'objet (N). Si l'angle de prise de vue reste constant, le rapport des distances entre les points photographiés et le point situé à la verticale du sol d'une part, et entre le point de nadir et l'image sur le cliché des points photographiés restent constant. Dans la réalité, l'angle de prise de vue varie au cours d'une campagne de vol. Sur des terrains où le relief est faible, les processus de rectification effectués sur les photographies aériennes permettent de corriger les déformations liées aux variations de l'angle de prise de vue (*Graham et Read, 1986*). Quand le relief est plus important et que les objets au sol ne sont pas situés à la verticale du centre de l'objectif, le relief modifie les rapports de distance entre les objets au sol et les objets photographiés. La figure II.1 illustre ce phénomène en montrant comment des objets A et B, situés sur le même plan par rapport à l'angle de prise de vue, mais à une hauteur différente (h), ne sont pas photographiés au même endroit sur le cliché (a et b). Ce déplacement est lié à la parallaxe, définie comme le changement de la position d'un objet observé en fonction de la distance séparant l'objet et l'observateur (*Graham et Read, 1986*). En intégrant les effets du relief, les processus d'orthorectification permettent de corriger la parallaxe.

Elle peut être évaluée à partir de la formule (2) :

$$\text{Formule (2)} \quad ab = \frac{na \times h}{H}$$

Ne disposant pas des informations précises relatives aux paramètres de prise de vue lors du vol et ni d'une information continue sur l'élévation du sol, les corrections apportées aux photographies constituant les mosaïques de 1952 et 1985 n'ont pu prendre en compte ces déformations. Elles ont simplement rendu constants les rapports d'échelle au sein des clichés et rectifié la position de tous les points de l'image par rapport à leur position géographique, exprimée en Lambert II étendu.

Le problème de parallaxe a toutefois été traité de manière plus sommaire en comparant la position sur les mosaïques de 1952 et sur les orthophotographies de points fixes sur le sommet des falaises et en évaluant la distance entre ces deux positions. Les sites enregistrant un mouvement du trait de côte inférieur aux distances obtenues ont été supprimés de l'analyse. Ce dernier point est discuté plus en détails dans la section suivante.

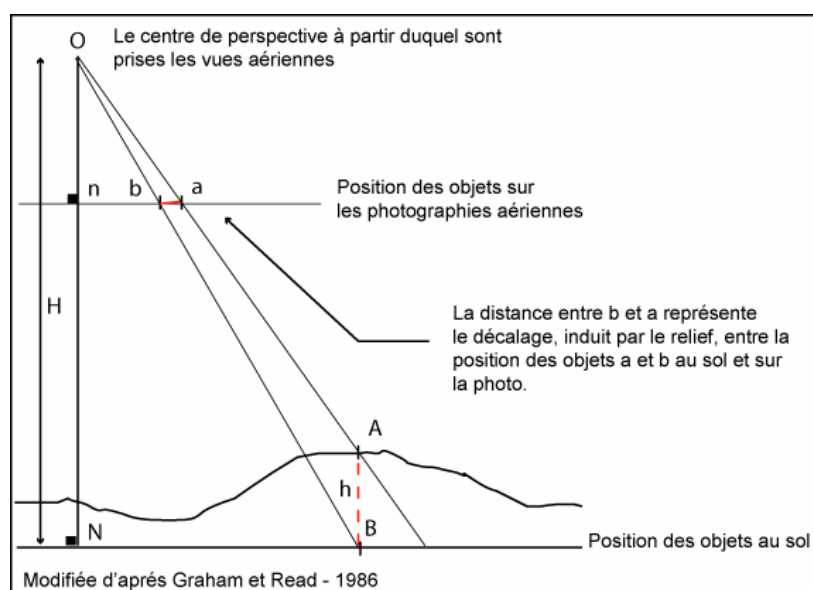


Figure II.1 : Illustration des effets du relief sur la position des objets sur les clichés aériens

Par ailleurs, les zones de raccord entre les différentes photos formant l'orthophotographie produite par l'IGN sont traitées géométriquement et radiométriquement de manière précise afin d'obtenir un document le plus homogène possible et d'éviter des problèmes pouvant nuire à son interprétation, notamment les cassures dans les objets linéaires ou les variations brutales de teintes au sein d'un même espace.

Néanmoins, malgré ces différences de qualité, les mosaïques créées sont suffisamment calées à l'orthophotographie pour qu'il soit possible d'étudier les variations spatiales et temporelles des objets géographiques photographiés.

### 1.1.3. Numérisation du trait de côte

La position du trait de côte entre 1952 et 2004 a été numérisée à partir des mosaïques et des orthophotographies. Le trait de côte est généralement considéré comme la ligne séparant le domaine maritime, recouvert par les eaux marines, du domaine terrestre par définition émergé (*Carter, 1999*). Dans le cadre de cette étude, une telle définition ne permet pas d'appréhender des mouvements renvoyant à des évolutions géomorphologiques. Afin de pouvoir appréhender des dynamiques géomorphologiques, il convient de définir des indicateurs dont la position se trouve affectée par l'action des dynamiques à l'œuvre au sein du système littoral étudié (*Parker, 2003*). En d'autres termes, il convient d'identifier des indicateurs géomorphologiques, dont la mobilité dans le temps et dans l'espace révèle l'existence de processus dynamiques quant aux fonctionnements géomorphologiques des systèmes littoraux.

Parmi l'ensemble des indicateurs fréquemment cités dans la littérature, la limite de la végétation dunaire et le sommet des falaises sont les plus utilisés sur les côtes meso à macro - tidales (*Gaillot et Chaverot 2001, Cazes-Duvat et al 2002, Le Berre et al 2005, Stive et al, 2002, Robin, 2002b, Kroon 2008*). Ces indicateurs présentent l'avantage d'être facilement identifiables sur les photos aériennes et ne sont pas dépendants des fluctuations des niveaux de la mer résultant du cycle des marées.

De plus, la progression de la végétation dunaire sur le haut de l'estran reflète, à long et moyen termes, des processus d'accumulation sédimentaire permettant le maintien et le développement de bermes de haut de plage, progressivement colonisées par la végétation (*Anfuso et al., 2007*). Cette relation entre l'occurrence de transports sédimentaires *onshore* et l'évolution des dunes bordières est bien documentée dans la littérature (*Aagaard et al., 2004; Saye et al., 2005; Anthony et al., 2006*). Il en résulte qu'une avancée significative du front dunaire peut être interprétée comme la manifestation de processus d'accrétion, favorisant l'accumulation des sables en haut de plage. A l'inverse, le recul de végétation dunaire, associé à une diminution des surfaces couvertes par des dunes embryonnaires, est assimilé à un budget sédimentaire négatif, résultant de l'occurrence de processus érosifs et/ou d'une augmentation des processus de déflation aérienne (*Ojeda Zujar et al., 2003*). Sur certains pas de temps, le recul de cet indicateur peut également être mis en relation avec une dégradation de la végétation dunaire, indépendante de la dynamique sédimentaire (*Boorman et Fuller, 1977*) (Partie II – Chapitre 5). Dans ce cas, ce dernier point a été systématiquement intégré à l'analyse.

Les données discutées au sein de la partie I ont permis d'établir que les mouvements du trait de côte sont principalement associés à la mobilité du front dunaire et du sommet des falaises. Dans le Golfe du Morbihan, les surfaces couvertes par les schorres enregistrent également une certaine mobilité. Aussi, trois types d'indicateurs géomorphologiques ont été retenus pour caractériser la position du trait de côte : la limite de l'extension de la végétation dunaire, le sommet des falaises, et dans les vasières, la limite des surfaces couvertes par les schorres.

A partir de ces indicateurs, la position occupée par le trait de côte a été numérisée, à l'aide du logiciel ArcGis 9.2 (Figure II.2), sous forme de polyligne, pour chaque année et chaque secteur, sur chaque mosaïque et sur la totalité des orthophotographies de 1999, 2000 et 2004 disponibles. Dans les secteurs où le littoral est artificiellement stabilisé par la mise en place d'infrastructures portuaires ou d'ouvrages de défense contre la mer, ces structures ont été numérisées sur la couche *trait de côte artificielle 2004* présentée au chapitre 1.

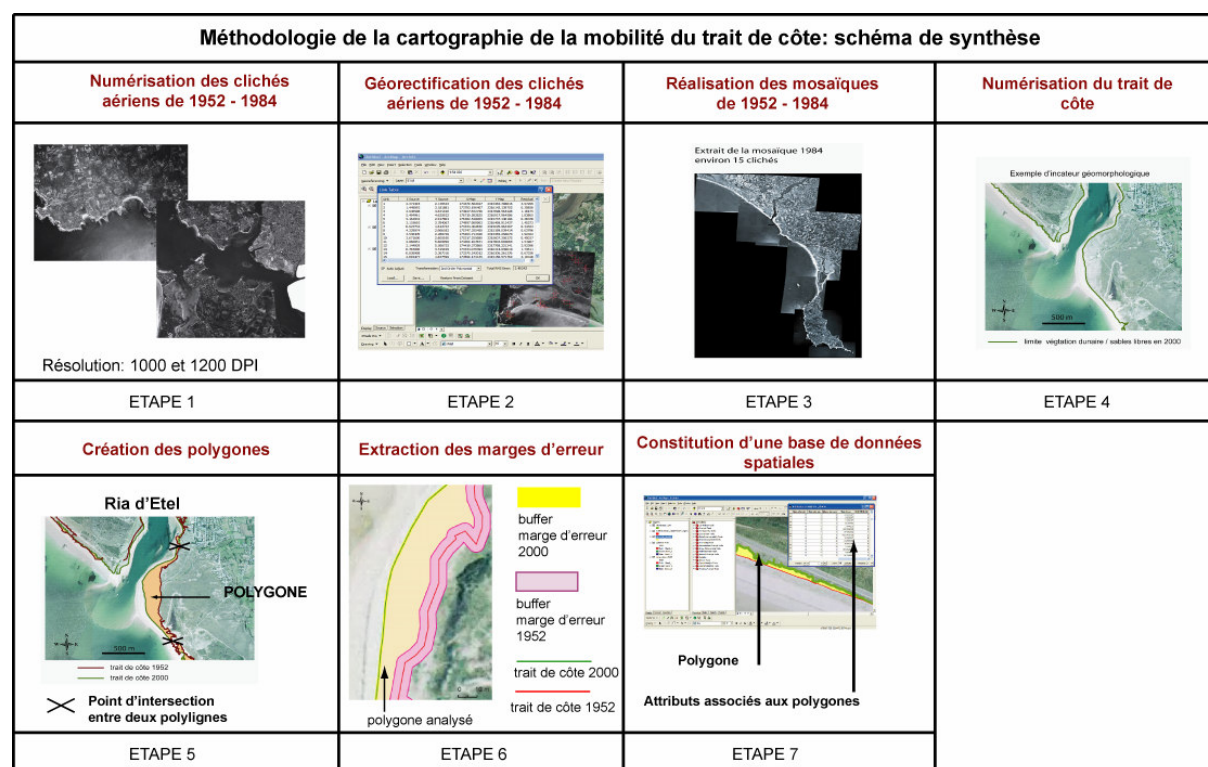


Figure II.2: Représentation schématique des différentes étapes réalisées pour la cartographie des variations du trait de côte.

## I.2. Traitements : mesure de la mobilité du trait de côte

Une fois la position du trait de côte numérisée pour chaque année, la mobilité de la ligne de rivage a été quantifiée et cartographiée afin d'identifier les grandes tendances marquant le comportement géomorphologique des littoraux étudiés entre 1952 et 2004.

### 1.2.1. Création de couches de polygones

Pour chaque secteur, toutes les polygones représentant la position du trait de côte à des dates différentes ont été comparées deux à deux, mettant ainsi en évidence la chronologie des variations enregistrées par la ligne de rivage sur plusieurs pas de temps. Les variations enregistrées par le trait de côte ont été quantifiées en mesurant les distances séparant les polygones représentant la position de la ligne de rivage à deux dates différentes. Ces distances ont été estimées en mesurant la surface comprise entre les deux polygones (*Costa, 2005*). Pour ce faire, les polygones ont été jointes deux à deux sur une même couche, ensuite convertie en couche polygone de manière à obtenir des surfaces représentant l'amplitude des mouvements du trait de côte entre deux dates données (*Levin et Ben-Dor, 2004, Rodriguez et al., 2009*) (Figure II.2).

### 1.2.2. Extraction des marges d'erreur

La précision avec laquelle est déterminée la position des indicateurs géomorphologiques, sur chaque document numérique, dépend de la qualité du processus de géo-rectification et de la précision avec laquelle ont été effectuées les opérations de numérisation du trait de côte. Ainsi, pour chaque année, il existe une certaine incertitude quant à la position exacte occupée par les indicateurs géomorphologiques. Afin d'intégrer cette incertitude à l'analyse, des marges d'erreur ont été calculées, qui correspondent au seuil en dessous duquel il n'est plus possible de déterminer si la valeur des mouvements correspond à un mouvement effectif. De plus, de manière à ne pas fausser les résultats obtenus, il est essentiel que la méthode retenue pour calculer les marges d'erreur permette d'éliminer les secteurs aberrants (*Fletcher et al., 2003*).

Le tableau II.2 synthétise les valeurs des marges d'erreur. Elles prennent en compte à la fois l'incertitude résultant du processus de géo-rectification et celle résultant du processus de numérisation du trait de côte. La valeur, en mètre, du *Root Mean Square* (RMS) a été utilisée de manière à quantifier l'incertitude associée aux processus de correction des déformations géométriques affectant les clichés (Annexe C). Chaque mosaïque étant composée de plusieurs clichés, l'erreur RMS associée aux processus de géo-rectification, pour l'ensemble de la mosaïque, a été déterminée en retenant la valeur du RMS d'une photo à partir de laquelle sont éliminés les secteurs au sein desquels la position occupée par le trait de côte est aberrante. Pour les mosaïques élaborées à partir des clichés les plus anciens et abîmés, le RMS maximum a été retenu alors que pour les mosaïques élaborées à partir de clichés de meilleure qualité seul le 90 centile a été utilisé. Le trait de côte ayant été numérisé à l'échelle du pixel, la résolution spatiale, en mètre, du pixel a été retenue pour quantifier l'erreur de numérisation.



	Erreur liée au géoréférencement (m)	Erreur liée à la numérisation (m)	Erreur totale (m)
<b>Massif dunaire Gâvres – Penthievre</b>			
1952	3.60	0.77	4.37
1984	4.42	0.96	5.38
1999		0.50	0.50
2000		0.50	0.50
2004		0.50	0.50
<b>Presqu'île de Quiberon</b>			
1952	3.36	0.69	4.05
2004		0.50	0.50
<b>Baie de Quiberon</b>			
1952	4.26	0.71	4.97
1985	3.14	0.82	3.96
2004		0.50	0.50
<b>Golfe du Morbihan</b>			
1952	5.00	1.35	6.35
2004		0.50	0.50
<b>Presqu'île de Rhuys</b>			
1952	4.33	0.85	5.18
1985	1.98	0.69	2.27
1999		0.50	0.50
2004		0.50	0.50

Tableau II.2 : Synthèse des marges d'erreurs associées aux mesures des variations du trait de côte.

Afin d'intégrer les valeurs maximales des marges d'erreur à l'analyse des zones tampons, *buffers*, d'une distance égale à la valeur de l'incertitude associée à la position du trait de côte, ont été créées autour de chaque polyligne et extraites des surfaces des polygones représentant les mouvements de la ligne de rivage entre deux dates données (Figure II.2).

Les polygones ainsi obtenus représentent les variations enregistrées par le trait de côte, à *minima* et correspondent à des mouvements dont l'occurrence est certaine, rendant alors possible l'identification de comportements géomorphologiques à partir de ces données. Tous les mouvements dont l'amplitude est inférieure aux marges d'erreur sont supprimés des couches servant de base à l'analyse. De même, dans les secteurs de falaises, où le relief est plus important, la parallaxe n'a pu être calculée de manière précise en raison du manque d'information concernant certaines campagnes de vol datant de 1952. Toutefois, la valeur du déplacement des objets lié au relief a été estimée en mesurant la distance entre la position d'objets immobiles (phare), situés sur le sommet des falaises et présents sur les clichés de 1952 et 2004. Les polygones représentant une variation inférieure à la valeur de la distance obtenue ont été supprimés de l'analyse.

A chaque polygone obtenu, des données attributaires ont été affectées (Figure II.2) décrivant, entre autres, le type de mouvement enregistré par le trait de côte, i.e. – un recul ou une avancée – ainsi que l'ampleur des mouvements observés, exprimés en mètre carré.

### 1.2.3. Mesure du recul des falaises

Pour les systèmes de falaises, les valeurs de recul ont été exprimées en mètres, sur un plan horizontal, par rapport à la position la plus ancienne du trait de côte.

Avec la méthode mise en oeuvre pour étudier les variations du trait de côte, les seules données disponibles concernant l'évolution des falaises correspondent à la surface des polygones obtenus par l'intersection des traits de côte de 1952 et 2004, diminuée des marges d'erreur. De manière schématique, la forme de ces polygones se rapproche de celle d'un rectangle. Aussi, pour obtenir une valeur approchée de l'ampleur possible du recul du trait de côte, sur un plan horizontal, on a cherché à estimer, pour chaque surface cartographiée, la largeur du rectangle dans lequel chaque polygone est inscrit (Figure II.3). La largeur (y) du rectangle a été obtenue à partir de l'égalité suivante, en prenant en compte l'aire (A) et le périmètre (P) de chaque polygone.

La longueur (x) des rectangles a été estimée à l'aide de l'équation (3) telle que:

$$\text{Formule (3)} \quad x = \frac{P}{4} + \sqrt{\left(\frac{P}{4}\right)^2 - A}$$

La largeur des rectangles a ensuite été estimée telle que:

$$\text{Formule (4)} \quad y = \frac{A}{x}$$

La largeur des rectangles ainsi obtenue représente une valeur approchée et maximisée (hors marge d'erreur) du recul latéral de la falaise entre deux dates. Afin d'obtenir ensuite les vitesses de recul, une méthode statistique simple, dite des points extrêmes, *End Point Rate*, a été appliquée. Elle consiste à diviser la distance séparant le trait de côte entre deux dates par le nombre d'années compris entre ces deux mêmes dates (Doland et al., 1991). Bien que cette méthode masque les discontinuités temporelles affectant les rythmes d'évolution, elle permet d'obtenir des résultats semblables à ceux obtenus avec des techniques plus complexes et met clairement en évidence les grandes tendances marquant l'évolution du trait de côte (Aernouts, 2005).

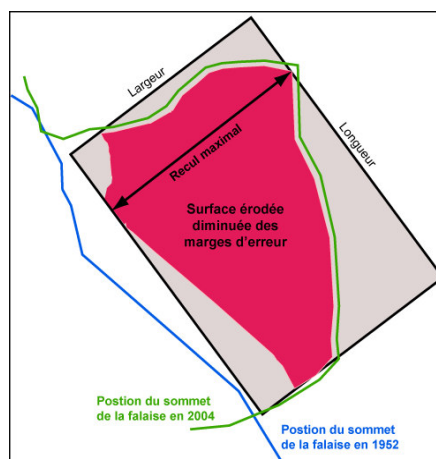


Figure II.3: Représentation schématique de la méthode adoptée pour estimer le recul maximal des falaises sur un plan latéral

Les différentes valeurs de recul obtenues ont été distribuées en 5 classes en suivant la méthode de discrétisation dite de «*natural breaks* », proposée par ArcGis 9.2. Cette méthode offre l'avantage d'établir les classes à partir des regroupements existant déjà au sein de la base de données. Les limites des classes sont fixées de manière à ce que la variance au sein de chaque classe soit minimisée alors que la variance entre les différentes classes est maximisée. Cette méthode tend ainsi à regrouper les valeurs les plus similaires et à accentuer les différences entre les classes. Afin de rendre plus lisibles les limites des classes obtenues, ces dernières ont été arrondies en nombre entier.

### Synthèse:

La méthode mise en place pour quantifier les mouvements du trait de côte repose sur l'analyse diachronique de différentes photographies aériennes. Elle permet de mesurer et cartographier les variations d'indicateurs géomorphologiques dont le mouvement reflète l'occurrence de dynamiques littorales et continentales. Par ailleurs, les secteurs où les mouvements observés sont trop faibles par rapport aux marges d'erreurs maximales sont supprimés de l'analyse.

## II. ANALYSE SPATIALE DE LA MOBILITE DU TRAIT DE COTE

Afin d'identifier les contraintes susceptibles de contrôler les mouvements mesurés du trait de côte, l'analyse s'est appuyée, dans un premier temps, sur les principes de l'analyse spatiale. L'objectif de l'analyse spatiale est selon Pumain et Saint Julien (2004) de décrire et d'analyser la disposition, dans un référentiel spatial donné, des objets géographiques étudiés en mettant en évidence les structures et tendances qui déterminent leur agencement dans l'espace. En géomorphologie littorale, peu d'études ont cherché à mettre en application les principes de l'analyse spatiale pour comprendre le fonctionnement environnemental des systèmes côtiers. Les travaux de Pennober (1999, 2005) se sont appuyés sur un ensemble de méthodes d'analyse spatiale, basé sur l'utilisation de données SIG et données de télédétection afin d'étudier le comportement géomorphologique de la zone intertidale de l'archipel des Bijagos (Guinée-Bissau). Ces travaux ont notamment contribué à développer des méthodes de segmentation multicritère afin d'individualiser différentes unités morpho-sédimentaires, et d'évaluer leur comportement à moyen et long terme. D'autres études ont eu recours à ce type d'analyse pour appréhender les interactions entre les contraintes anthropiques et naturelles qui contrôlent l'évolution du littoral. Ainsi, Priskin (2003) a eu recours à un ensemble d'analyses spatiales et géo-statistiques pour évaluer l'impact des usages touristiques et récréatifs associés à l'utilisation de 4x4 sur le littoral Ouest Australien.

Les SIG constituent un outil efficace pour mettre en œuvre ce type d'analyse. En effet, ils permettent d'appréhender, de représenter et d'analyser des phénomènes complexes inscrits dans des systèmes spatiaux, territoriaux ou socio-environnementaux (*Pirot et Saint Gerand, 2005*). Dans le cadre de notre étude, le fonctionnement géomorphologique des systèmes côtiers Sud bretons est assimilé à un phénomène complexe, contrôlé par l'occurrence de plusieurs processus liés les uns aux autres par des relations sémantiques et spatiales. A partir d'une base de données spatiales (voir II.1), un ensemble de traitements a été réalisé pour identifier les facteurs spatialement associés aux différents mouvements observés du trait de côte. L'objectif de cette partie est d'explicitier la méthodologie mise en place afin de constituer la base de données spatiales, et de détailler l'ensemble des analyses réalisées (II.2 et III). L'ensemble de cette démarche méthodologique est constitué de plusieurs étapes. Au cours de l'analyse, les résultats de certaines étapes intermédiaires ont été confrontés aux données de terrain afin de tester la validité des traitements d'analyses spatiales et de légitimer le passage à de nouveaux traitements numériques.

## **II.1. Constitution d'une base de données spatiales relative à la mobilité du trait de côte en Bretagne Sud (1952 – 2004)**

Les systèmes d'information géographique sont des systèmes d'information permettant de modéliser le fonctionnement de phénomènes spatialement définis. Ils s'apparentent à une chaîne d'opérations ayant pour objectif l'observation, la création et le recueil de données spatiales, leur organisation dans une structure de stockage prenant en compte les relations topologiques entre les différentes entités spatiales, leur analyse et la création de nouvelles couches d'informations pouvant s'intégrer dans des processus d'aide à la concertation ou d'aide à la décision (*Star et Estes, 1990*). Dans le cadre de ces travaux, les données relatives au fonctionnement des systèmes côtiers Sud bretons ont été intégrées dans une base de données spatiales afin d'en faciliter le stockage et l'analyse. La constitution de cette base de données a nécessité plusieurs étapes : (1) une analyse thématique et sémantique du phénomène étudié afin de déterminer les contraintes naturelles et anthropiques susceptibles d'expliquer la répartition spatiale des différents mouvements du trait de côte ; (2) la définition de l'architecture de la base de données spatiales regroupant toutes les couches d'informations nécessaires à la formalisation et l'analyse de la problématique étudiée ; (3) la construction, à partir d'un support physique, de la base de données et (4) la création et l'importation des couches d'informations spatiales au sein de la base de données. L'objectif de cette section est de détailler l'ensemble de ces étapes ayant permis la création d'une base de données spatiales relative à la mobilité du trait de côte en Bretagne Sud entre 1952 et 2004.

### **II.1.1 Présentation des contraintes retenues pour analyser la mobilité du trait de côte**

Afin de déterminer les facteurs à prendre en compte dans l'analyse de la mobilité du trait de côte, un certain nombre de contraintes susceptibles d'influer sur les variations observées ont été répertoriés, analysés puis intégrés à la base de données. L'identification des contraintes naturelles et anthropiques repose sur l'analyse du terrain d'étude proposée dans la partie I (Chapitre 2 – Chapitre 3). Les contraintes considérées comme anthropiques sont celles qui relèvent du domaine social ou du socio-système (*Gallopain, 1991, 2006, Corlay, 1995*) et sont induites par les formes actuelles de l'anthropisation du littoral. Les contraintes dites «naturelles participent au fonctionnement des écosystèmes (*Gallopain, 1991, 2006, Corlay, 1995*) et renvoient à des contraintes physiques ou environnementales.

### **II.1.1.a) Les « contraintes naturelles » associées aux systèmes dunes-plages**

Au sein des systèmes dunes-plages, les principales contraintes naturelles qui expliquent, sur le long terme, à une échelle sub-régionale, les logiques d'érosion et d'accrétion associées aux mouvements du trait de côte sont essentiellement déterminées par les processus de transports sédimentaires *alongshore* opérant au sein des cellules sédimentaires (Stapor, 1971, May et Tanner, 1973, Stapor et May, 1983, Bray, 1995).

Dans un premier temps, l'analyse s'est concentrée sur ces contraintes. De manière à les intégrer dans la base de données relative à la mobilité du trait de côte, les limites des cellules sédimentaires au sein de chaque système côtier ont été analysées et cartographiées.

Au sein de chacune de ces cellules sédimentaires, trois types d'espace sont identifiés, en suivant la typologie décrite par Carter (1999):

- Les sites sources qui contribuent à délivrer des sédiments aux systèmes littoraux. Ces sites correspondent soit à des entités morphologiques d'érosion côtière, telles que les falaises, soit à des sites situés à l'amont des courants de dérive littorale,
- Les sites de transit qui s'apparentent à des corridors de transport au sein desquels transitent les sédiments mis en mouvement par les courants littoraux. Les mécanismes de transports sédimentaires n'étant pas continus dans le temps, ces sites sont caractérisés par une alternance spatiale et temporelle de processus d'érosion et d'accrétion.
- Les sites puits qui correspondent aux sites dans lesquels viennent s'accumuler les sédiments transportés par les courants de dérive. Ce sont des sites dominés par des processus d'accrétion.

Dans un second temps, l'analyse s'est intéressée aux effets d'abri associés à la forte rugosité du trait de côte. Elle a cherché à intégrer, à une échelle plus locale, l'influence sur le comportement morphologique des formes littorales des variations des conditions d'agitation à la côte, en fonction de leur orientation par rapport aux vents et houles dominants. Sur les côtes découpées de Bretagne Sud, la forte rugosité du trait de côte induit différents degrés d'exposition des formes littorales par rapport aux houles et vents dominants (Partie I). Ces variations locales d'exposition engendrent la mise en place d'effet de surexposition ou d'effet d'abris, susceptibles d'interagir avec les dynamiques sédimentaires en favorisant la mobilisation ou le dépôt du matériel sédimentaire transporté par les courants littoraux.

### **II.1.1.b) Les « contraintes naturelles » associées aux systèmes de falaises**

Les travaux de Sunamura (1992) ont montré que l'évolution des falaises, et plus généralement des côtes rocheuses, dépend d'un complexe de plusieurs facteurs parmi lesquels il convient de citer la structure géologique des formations rocheuses affleurantes, la lithologie le degré d'exposition aux agents de l'abrasion marine et subaérienne, le type de couvert végétal mais aussi l'histoire des mouvements tectoniques de la plate-forme continentale et des variations des niveaux des mers (Sunamura, 1977, Regnaud et al., 1995, Bird, 2000, Hapke et Richmond, 2002, Hénaff et al., 2002, Costa et al., 2003, Nyssen et al., 2006, Pierre, 2006, Greenwood et Orford, 2008, Naylor et al., 2010). Aussi bien dans le Golfe du Morbihan que sur la façade Ouest de la presqu'île de Quiberon, les processus d'érosion gravitaire jouent un rôle non négligeable et entraînent un recul du sommet des falaises facilement identifiable sur les photographies aériennes (Partie I). Aussi, l'analyse s'est-elle concentrée, dans un premier temps, sur les facteurs susceptibles de contrôler les vitesses d'érosion subaérienne.

Les processus d'érosion subaérienne agissent sur l'ensemble des versants des falaises et des côtes rocheuses. Ils contribuent à créer et détacher du matériel sédimentaire qui est ensuite transporté, sous l'action de la gravité, le long de la pente jusqu'au bas de la falaise. Dans les espaces abrités de l'action des houles, ils expliquent dans une large mesure le recul du sommet des falaises (Robinson et Jerwood, 1987, Sallenger et al., 2002). Cette forme d'érosion gravitaire renvoie à différents mécanismes dont certains s'inscrivent dans une chaîne temporelle et spatiale de cause à effets (Bird, 2000, Masselink et Hedges, 2003). Parmi ces mécanismes, il convient de citer:

- Les processus physiques et mécaniques qui contribuent à désintégrer la surface de la roche,
- Les processus chimiques qui contribuent à décomposer la roche affleurante,
- Les processus biologiques qui peuvent contribuer aussi bien à protéger qu'à accroître la fragilisation de la roche en place,
- Les processus de ruissellement à partir du moment où les formations superficielles recouvrant la pente et le sommet des falaises sont saturées en eau,
- Les processus participant à des mouvements de terrain conduisant à la déstabilisation du versant de la falaise,
- Les rythmes et intensité des précipitations (May et Heeps, 1985),
- Le type et la densité du couvert végétal (French, 2001)

Dans le cadre de ces travaux, l'analyse s'est focalisée uniquement sur les principaux facteurs permettant d'expliquer sur le temps long les évolutions visibles sur les photographies aériennes. Le choix des facteurs retenus repose sur la description des systèmes de falaises proposée au chapitre 3 et dépend également des données disponibles.

Les facteurs retenus sont les suivants : la nature de la roche et l'épaisseur de l'horizon d'altération, le type de couvert végétal, l'importance de l'horizon pédologique et le type de couvert végétal. Ces facteurs ont été pris en compte à partir des données terrain discutées au sein du chapitre 1 qui ont servi à établir une typologie des types de falaises et des couverts végétaux développés sur le sommet des falaises, à partir de ces contraintes.

Par ailleurs, les observations terrain discutées au sein de la partie I ont mis en évidence que les falaises de la presqu'île de Quiberon sont fortement exposées aux houles et vents dominants. Ce paramètre a également été pris en compte dans l'analyse à partir de la couche *Orientation presqu'île de Quiberon* présentée au chapitre 1.

#### **II.1.1.c) Les « contraintes anthropiques » associées aux systèmes dunes-plages et aux systèmes de falaises**

Afin de pouvoir discuter des interactions entre les « *contraintes littorales* » représentées par les facteurs énoncés précédemment et les « *contraintes anthropiques* » générées par les formes actuelles de l'anthropisation des systèmes côtiers, un certain nombre de facteurs représentant l'augmentation des pressions anthropiques exercées à proximité de la ligne de rivage, entre 1952 et 2004, ont été intégrés à l'analyse.

En fonction des données discutées au sein de la partie I, deux facteurs principaux ont été retenus pour l'analyse. Ils correspondent aux pressions anthropiques actuelles les plus fréquentes le long du linéaire côtier étudié et sont associés aux usages touristiques et résidentiels de la frange littorale. Le premier facteur correspond à l'augmentation des surfaces bâties et artificialisées dans une bande de 100 m à proximité du trait de côte. Le second facteur renvoie au développement et à la création de chemins côtiers, longeant les falaises ou traversant les massifs dunaires. Qu'elles soient situées au sein des dunes bordières ou sur le sommet des falaises, ces pressions anthropiques sont susceptibles d'interagir avec les dynamiques littorales et d'influencer l'évolution du trait de côte (*Nordstorm, 2000*).

En effet, la concentration des infrastructures, type parkings, dans la dune végétalisée et l'augmentation du nombre de chemins côtiers favorisent le développement et la concentration des processus de piétinement. Chapman (1989) et Anderson (1995) ont répertorié différents effets associés au piétinement dans les massifs dunaires, qui se manifestent par :

- La création de brèches dans la dune,
- Une entrave à la formation de dunes naissantes,
- Une réduction de la hauteur des dunes établies,
- Une modification des propriétés du substrat: teneur en matière organique, humidité dans le sol,
- Et une réduction de la biodiversité.



Ces différentes modifications s'inscrivent dans une boucle d'évènements en chaîne, marquée par des phénomènes de rétroaction (figure II.4) qui affectent localement l'état de la végétation ou la morphologie des paysages côtiers (Nordstrom, 2000). Les effets du piétinement se traduisent par une dégradation de la couverture végétale en place, ce qui favorise l'apparition de brèches dans la dune grise et la dune mobile (Liddle et Grieg-Smith, 1975, Hylgaard et Liddle, 1981). En outre, la dégradation du couvert végétal accentue la mobilité des matériaux sédimentaires et modifie les caractéristiques des sols. Ces modifications interagissent, en retour, avec les processus de germination et la colonisation végétale de la dune (Rickard et al., 1994). L'ensemble de ces processus contribue à modifier l'évolution morphologique des dunes et à entraver la progradation du front dunaire. Sur le long terme, selon Mather et Ritchie (1977), ces processus peuvent conduire à un recul, local, du trait de côte. En retour, le recul du trait de côte peut favoriser la dégradation du couvert végétal restant, entraînant un recul du chemin et la répétition des différentes étapes des processus conduisant à un recul local ou partiel du trait de côte.

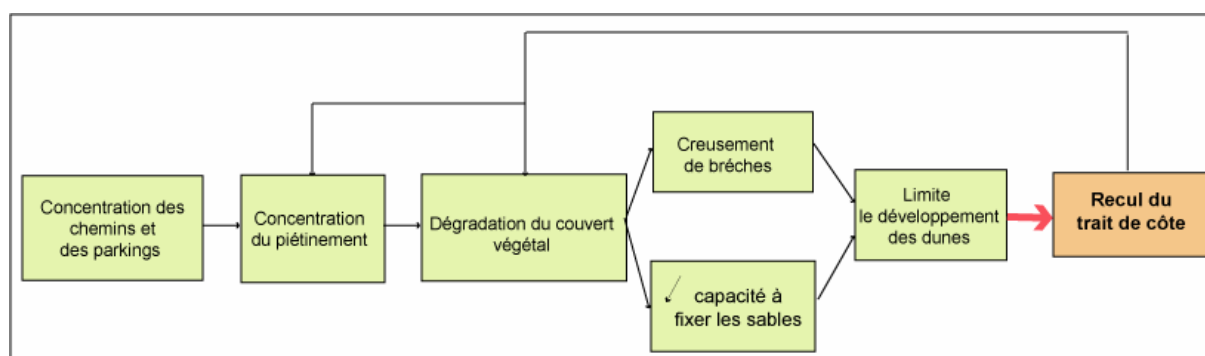


Figure II.4: représentation schématique et synthétique des effets des pressions anthropiques sur le recul des fronts dunaires discutés dans le texte

Mather et Ritchie (1977) ont analysé les seuils de fréquentation à partir desquels les dommages causés par les piétinements deviennent perceptibles sur l'évolution des formes littorales. A partir de 26 à 100 visiteurs par jour, les effets du piétinement peuvent entraver le fonctionnement de la dune, à travers la dégradation du couvert végétal. A partir de 60 visiteurs par jour, la probabilité que les dommages soient importants augmente. De même, Boorman et Fuller (1977) ont mis en évidence que plus de 2 800 passages réduisent de 50% le couvert végétal d'une dune colonisée par des oyats. En raison de leur plus faible résilience, les dunes végétalisées apparaissent plus sensibles aux effets du piétinement alors même que la plupart des parkings et des réseaux de chemins côtiers sont établis sur ces dunes (Lemauiel et Rosé, 2003). De même, sur le sommet des falaises, le développement des chemins côtiers et l'augmentation des surfaces bâties favorisent la fréquentation du site, qui se traduit par une augmentation du piétinement générant souvent une dégradation du couvert végétal, plus ou moins rapide selon les espèces (Gallet et Roze, 2001). La dégradation du couvert végétal accentue les phénomènes de ruissellement et favorise l'apparition de ravines.

Le piétinement accentue le tassement du sol et des formations superficielles sur le sommet des falaises, ce qui réduit l'infiltration des eaux de pluie dans ce secteur, et accentue les processus de ruissellement. Parallèlement, l'infiltration des eaux de pluie est concentrée dans les secteurs situés de part et d'autre des sentiers, ce qui contribue à accentuer les processus d'altération (Van Waerbeke, 1999). De plus, le piétinement entrave la colonisation du sommet de la falaise par la végétation et réduit ainsi les possibilités d'infiltration des eaux de pluie et le drainage de la pente (French, 2001). Ces différents processus peuvent contribuer à favoriser le recul du trait de côte (Figure II.5).

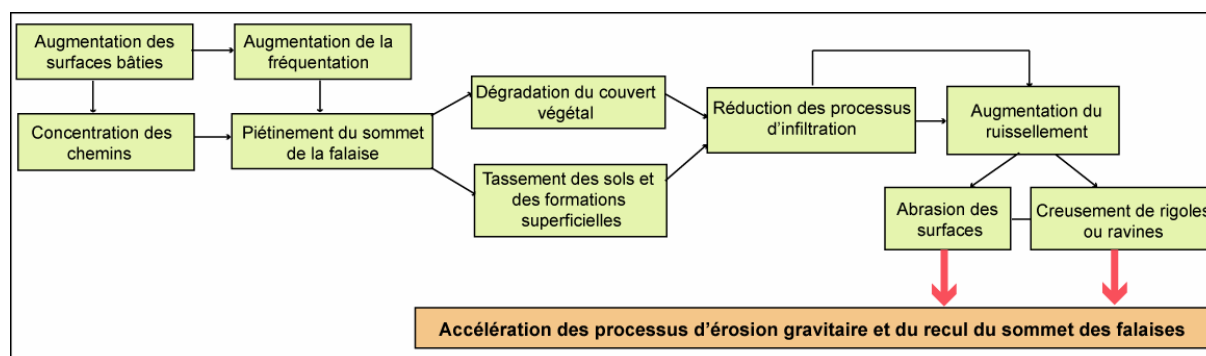


Figure II.5 : représentation schématique et synthétique des effets des pressions anthropiques sur le recul du sommet des falaises discutés dans le texte

### II.1.2. Modélisation conceptuelle de la base de données spatiales et création d'une géodatabase

L'ensemble des facteurs discutés précédemment a été spatialisé afin de créer des couches d'informations spatiales représentant les contraintes naturelles et anthropiques susceptibles de contrôler les mouvements des formes littorales. Ces couches d'information ainsi que les fichiers de forme représentant les variations du trait de côte ont été intégrés dans une base de données spatiales relative à la mobilité du trait de côte en Bretagne Sud entre 1952 et 2004.

L'organisation et l'architecture de la base de données ont été définies à partir d'un modèle conceptuel de données (MCD). Ce travail de modélisation se déroule en plusieurs étapes (Pirrot et Saint Gérard, 2004, 2005). Dans un premier temps, une analyse thématique a permis d'identifier les relations sémantiques ou thématiques entre les phénomènes observés. Ces relations ont été formalisées à l'aide de la méthode HBDS (*Hypergraph Based Data Structure*) initialement élaborée par Bouillé (1977), afin de permettre la constitution d'un MCD. Cette étape permet de schématiser le fonctionnement du phénomène étudié (Lefebvre, 2008), à savoir la mobilité du trait de côte, et d'établir un premier lien entre la problématique de l'étude et la construction du SIG (Saint Gérard, 2005).

Dans un second temps, des modèles logiques puis physiques de données ont été établis afin de préciser les tables, champs et relations nécessaires à la réalisation de la base de données spatiales. Les modèles logiques et physiques de données sont formalisés à l'aide du langage UML, *Unified Modelling Language* (Dennouni, 2007, Deshay, 2008).

### **II.1.2.a. Réalisation du modèle conceptuel de données (MCD)**

Le modèle conceptuel de données a été élaboré à partir de la méthode HBDS, mise au point par Bouillé (1977). Elle repose sur des principes issus de la théorie des graphes et hypergraphes ainsi que sur la théorie des ensembles. Pirot et Saint Gérard (2004, 2005) la considèrent comme l'une des méthodes les plus efficaces pour représenter les liens entre les différents phénomènes ou processus qui constituent un phénomène spatial donné. Chaque phénomène spatial ou processus est assimilé à une hyperclasse, pouvant elle-même être subdivisée en classes regroupant des objets géographiques. Les objets géographiques sont ainsi assimilés à des graphes planaires topologiques sans isthmes<sup>7</sup>. De cette façon, les propriétés géographiques des objets deviennent inhérentes à leur représentation conceptuelle et graphique et ne sont plus de simples attributs de l'objet. Entre les hyperclasses et les classes, il est possible de définir des liens qui représentent les relations sémantiques et topologiques existant entre les différents processus ou phénomènes constituant le phénomène étudié. L'ensemble des hyperclasses, des classes et des liens forme des hypergraphes.

La figure II.6 représente le MCD de la base de données relative à la mobilité du trait de côte en Bretagne Sud entre 1952 et 2004.

Elle est constituée de six hyperclasses : les données géomorphologiques, les contraintes naturelles, les contraintes anthropiques, les traits de côte géomorphologiques, l'évolution du trait de côte et la représentation de la distribution spatiale des contraintes anthropiques. Chacune de ces hyperclasses est composée de plusieurs classes thématiques regroupant les objets géographiques associés à cette thématique. Les flèches de différentes couleurs représentent les liens entre ces différentes hyperclasses et classes. Les données géomorphologiques définissent un certain nombre de contraintes naturelles qui déterminent l'évolution du trait de côte. L'évolution du trait de côte est également contrôlée par des contraintes anthropiques dont la prise en compte dans la base de données est fonction de la distance par rapport aux traits de côte géomorphologiques. Enfin, les variations du trait de côte sont déterminées en fonction de la position des traits de côtes à deux dates distinctes.

<sup>7</sup> « Un graphe G est planaire s'il est possible de le représenter sur un plan de sorte que les sommets soient des points distincts et les arcs des courbes simples ne se rencontrant pas en dehors de leur extrémité. Un graphe planaire topologique est une représentation d'un graphe G sur un plan. Un graphe planaire topologique sans isthme est un graphe planaire topologique sans arc pendant » Définition issue de Histoire et Mesure, 2004, t. XIX-3/4 in Lefebvre, 2008.

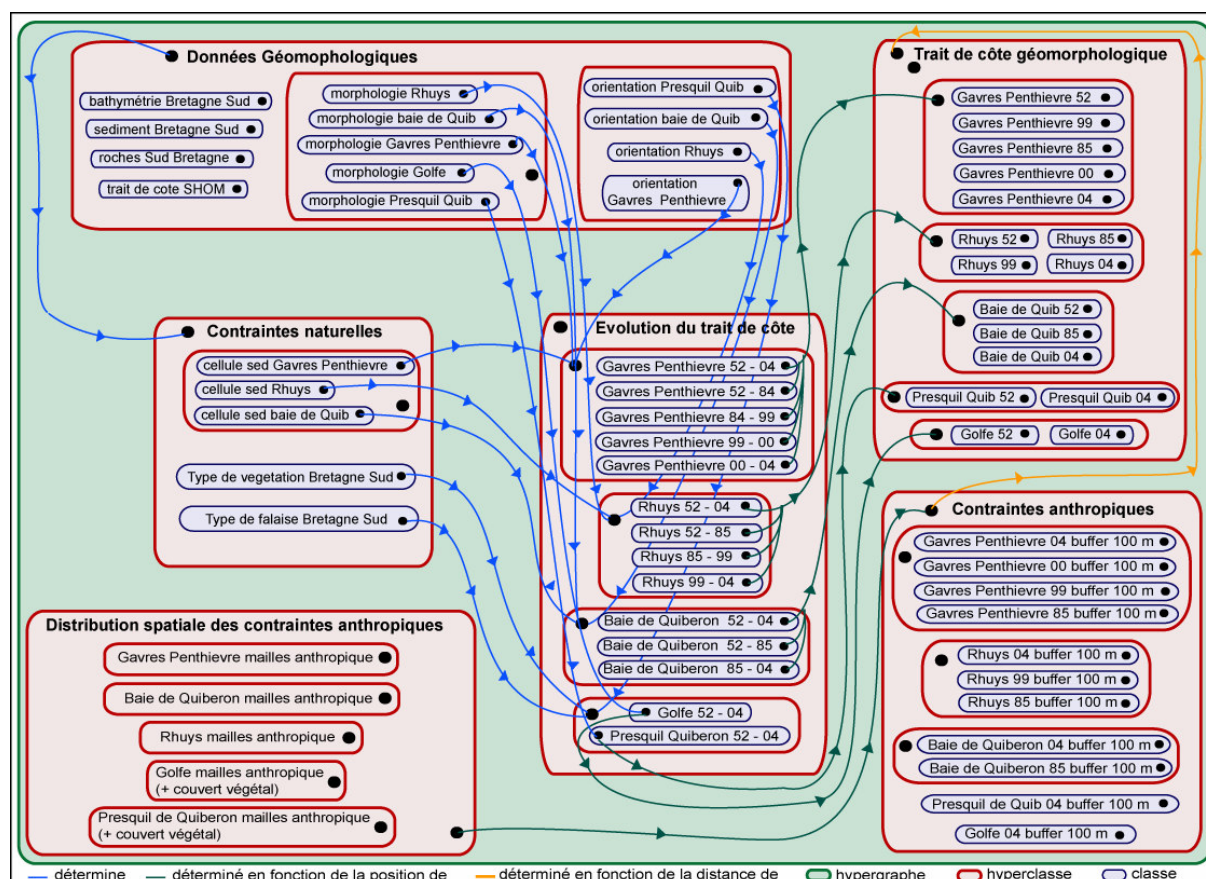


Figure II.6 : Modèle conceptuel de données - Analyse de la mobilité du trait de côte en Bretagne Sud (1952- 2004)

Ce MCD représente la structure générale de la base de données et l'organisation des différentes couches d'information la composant sous forme de diagrammes de classes. A partir de ces diagrammes de classes, les modèles logiques et physiques de données ont pu être établis.

#### II.1.2.b. Modélisation logique et physique et création de la Géodatabase à l'aide du module ArcCatalog-ArcInfo

Le modèle logique de données représente de manière plus précise les relations entre les différentes couches d'informations contenues dans la base de données. Chaque classe du MCD devient, dans le modèle logique, une table. Les tables sont composées de lignes et de colonnes. A chaque ligne correspond une entité spatiale, identifiée à partir de l'identifiant de la classe d'entité, appelé clé de la table. A chaque colonne correspondent des champs attributaires distincts, appelés attributs de la table. Les relations entre les tables sont ensuite formalisées en fonction de leur type et de leur cardinalité. La cardinalité exprime le nombre d'entités spatiales concernées par la relation dans chaque table. Chaque relation est établie entre deux tables : une table d'origine et une table de destination.

Il existe deux types de relations : (1) les relations simples (*peer to peer*) qui permettent de représenter les liens entre deux ou plusieurs objets de la base de données qui peuvent exister indépendamment l'un de l'autre, et (2) les relations composées (*composite relation*) qui décrivent les liens entre des objets dépendants : l'existence des objets de la table de destination est dépendante de l'existence des objets de la table d'origine. La suppression de ces derniers entraîne la suppression des objets de la table de destination. De même, il existe trois types de cardinalité : les relations un à un (1 : 1), les relations un à plusieurs (1 : m) et les relations plusieurs à plusieurs (n : m). Dans une relation (1 : 1), chaque objet de la table d'origine est associé à un objet de la table de destination. Dans une relation (1 : m), chaque objet de la table d'origine est associé à plusieurs objets de la table de destination. Dans une relation (n : m), plusieurs objets de la table d'origine sont associés à plusieurs objets de la table de destination.

La figure II.7 représente le schéma logique de données définissant les relations entre les tables issues des différentes classes du MCD. Il a été réalisé à l'aide du logiciel BDdesigner4. Afin d'en faciliter la lecture et la lisibilité, la figure est divisée en plusieurs encadrés décrivant chacun les liens existant entre les classes pour deux hyperclasses. Ces hyperclasses sont représentées de manière graphique par des régions de couleur différente. Les classes qui ne figurent pas sur le schéma sont celles pour lesquelles il n'existe pas de lien relationnel entre elles. Entre chacune des tables représentées, les relations entre les données sont définies par une cardinalité de type (1 : m). Ce dernier point s'explique dans la mesure où les données géomorphologiques et les contraintes naturelles ont été définies à une échelle différente de celles des polygones représentant les variations du trait de côte. Par exemple, un type de site (i.e. site puits) au sein d'une cellule sédimentaire contient plusieurs polygones (sites en érosion ou en accrétion). La méthodologie mise en place pour créer ces couches d'information est détaillée dans la section suivante.

A partir de ce modèle logique de données, la base de données spatiales relative à la mobilité du trait de côte en Bretagne Sud a été créée à l'aide du module ArcCatalog-ArcInfo de la gamme ArcGis 9.2. Ce module permet la création et la gestion de géodatabases (*Labarthe et Pirot, 2008*). Une géodatabase correspond à un modèle physique de données, issu d'un modèle conceptuel élaboré à partir de la méthode hypergraphique HBDS. Elle fonctionne en langage UML. Elle est constituée d'un ensemble de structures, vides de toute donnée, équivalentes aux structures définies par le modèle conceptuel de données (*Pirot et Saint Gérard, 2004, 2005*), et précise les relations existant entre ces structures en fonction des liens décrits par le schéma logique de données.

Une fois la géodatabase créée, l'ensemble des couches d'informations spatiales nécessaires à l'analyse de la problématique a été intégrée au sein de cette structure physique afin d'obtenir une base de données spatiales.

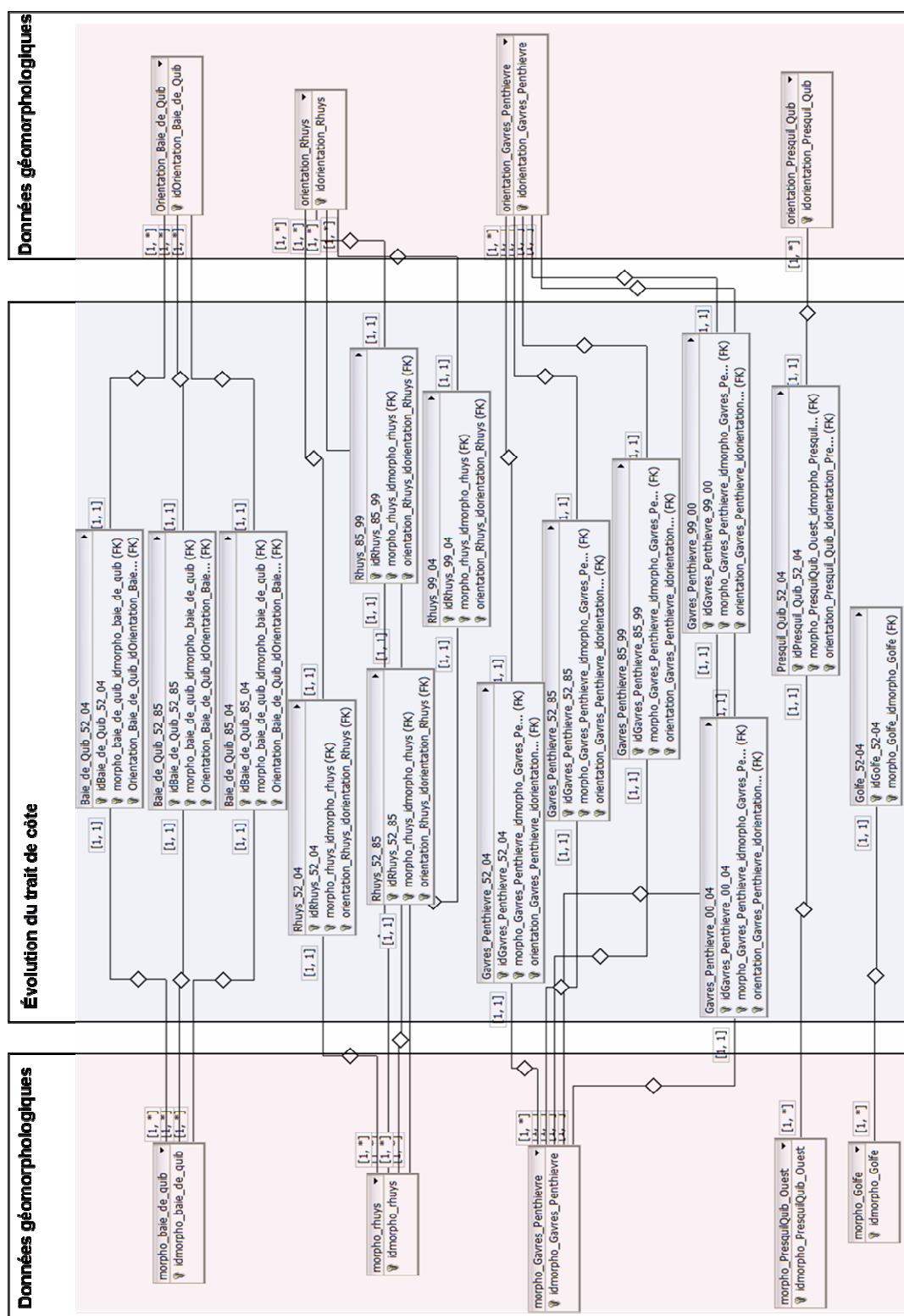


Figure II.7a : Schéma logique représentant les liens entre les couches d'information spatiale contenues dans les hyperclasses Données Géomorphologiques et Evolution du trait de côte (1952 - 2004)

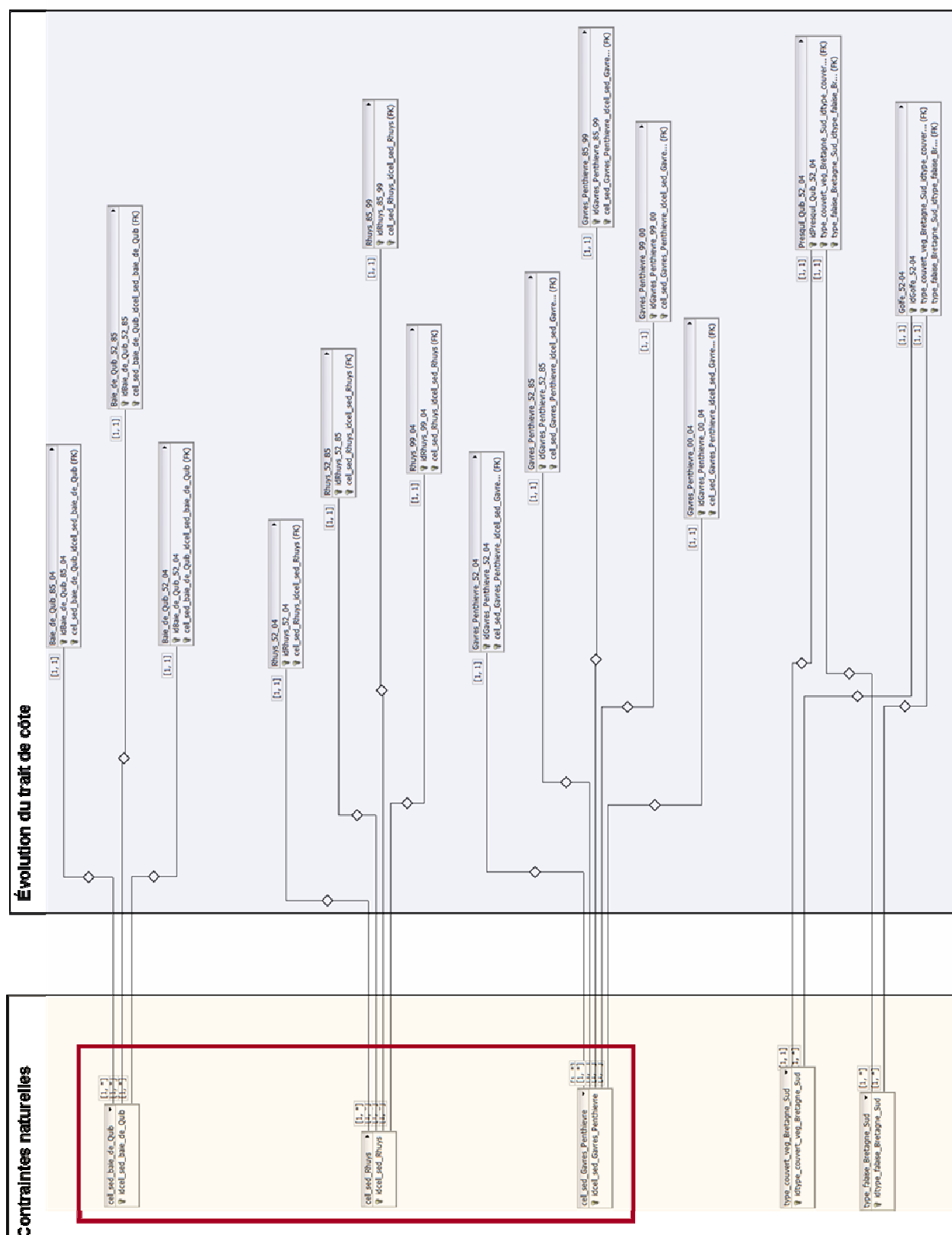


Figure II.7b : Schéma logique représentant les liens entre les couches d'information spatiale contenues dans les hyperclasses Contraintes Naturelles et Evolution du trait de côte (1952 - 2004)



### II.1.3. Création des couches d'information spatiale intégrées à la Géodatabase

Les couches d'information chargées au sein de la Géodatabase proviennent de trois sources :

- des données spatiales de références présentées au chapitre 1,
- des données concernant l'évolution du trait de côte, par intervalle de temps pour chaque système côtier, obtenues par la méthode présentée au sein de ce chapitre,
- et enfin, des données spatiales issues de l'intersection des couches d'informations précédentes.

La figure II.8 propose un organigramme méthodologique synthétisant les différentes couches d'informations utilisées et les traitements réalisés pour obtenir l'ensemble des données intégrées dans la géodatabase.

Ces traitements sont organisés en quatre étapes. Au cours de la première étape, des fichiers de forme représentant les variations du trait de côte, pour chaque système côtier et chaque intervalle de temps, ont été créés en suivant la méthodologie décrite par la figure II.8. Afin de caractériser le type de morphologie caractérisant chaque polygone associé à un mouvement du trait de côte, les données spatiales présentées au chapitre 1 (*morphologie Bretagne Sud* – Tableau I.2) ont été croisées avec les couches d'information représentant les variations du trait de côte. Pour simplifier les opérations, les données concernant la morphologie du trait de côte, enregistrées sur la couche *morphologie Bretagne Sud*, ont été enregistrées sur cinq fichiers de forme distincts, dont l'emprise spatiale correspond à celle des cinq systèmes côtiers étudiés. L'intersection entre ces différentes couches d'information a été effectuée avec ArcGis 9.2, à l'aide de la fonction *identity* qui permet de découper des entités spatiales en fonction des limites de polygones situés sur une autre couche d'information spatiale, tout en conservant l'ensemble des attributs des couches analysées.

Au cours de la seconde étape, un ensemble d'opérations entre les différentes couches d'information a été réalisé afin d'attribuer à chaque polygone représentant les variations du trait de côte, sur un pas de temps donné, un ensemble d'attributs décrivant les contraintes naturelles susceptibles de contrôler ces mouvements.

Pour les systèmes de falaises, l'analyse s'est concentrée sur les différentes ampleurs du recul des falaises. La présentation géomorphologique du Golfe et de la façade Ouest de la presqu'île de Quiberon, effectuée au sein du chapitre 1, a mis en évidence que ces systèmes côtiers sont majoritairement constitués de falaises. Afin d'extraire ces secteurs, des requêtes ont été effectuées à partir des couches d'information obtenues par l'étape 1 de manière à ne conserver que les polygones représentant un recul des falaises.



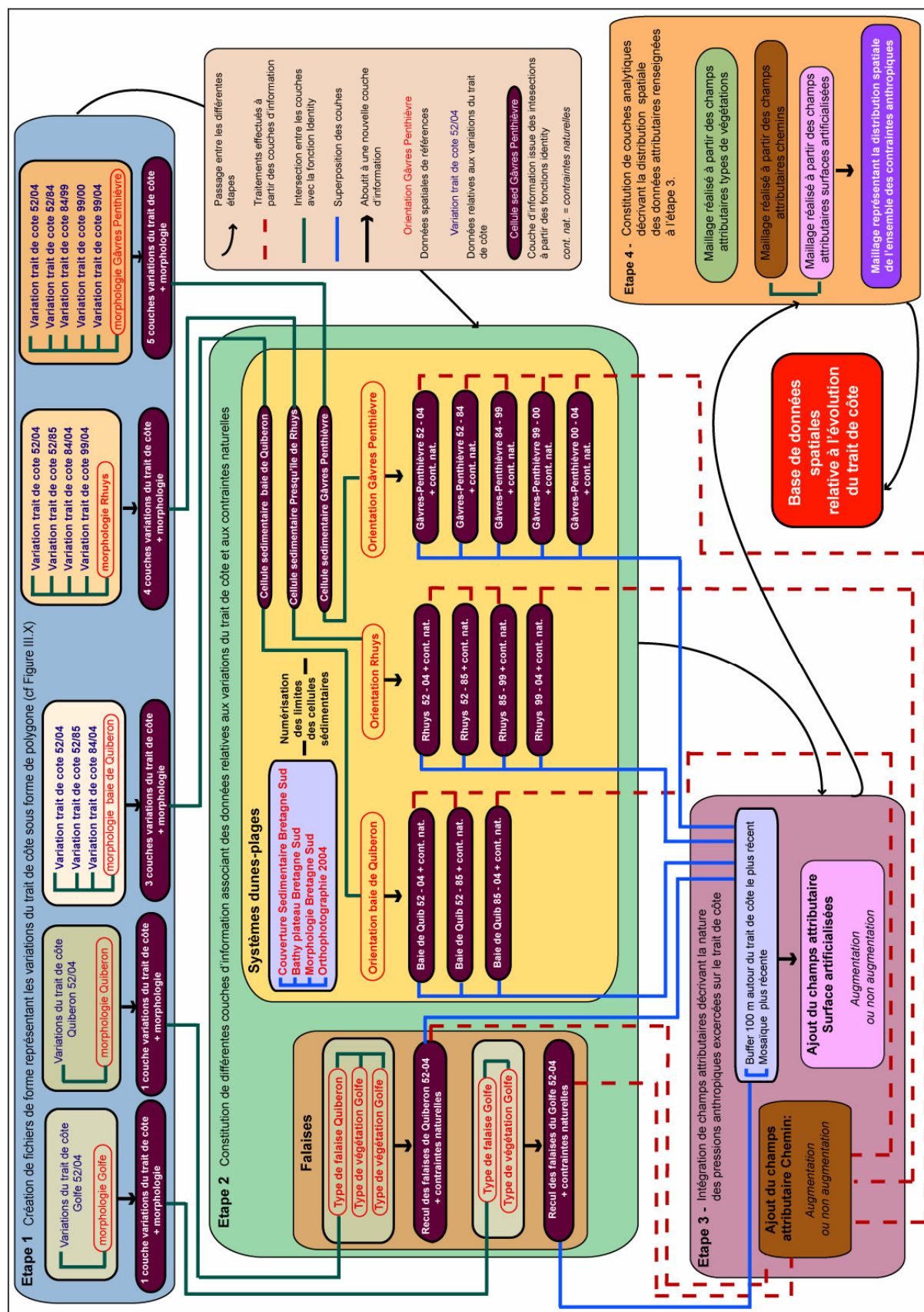


Figure II.8 : Organigramme méthodologique : méthode appliquée pour obtenir les couches d'informations nécessaires à l'analyse des variations du trait de côte

Ces nouvelles couches d'informations ont été intersectées, à l'aide de la fonction *identity*, avec les couches d'informations décrivant les types de falaises, de couvert végétal ou le degré d'exposition par rapport aux houles et vents dominants. Ces différents facteurs sont enregistrés sur les couches d'information décrites au chapitre 1. Cette opération a permis d'obtenir des couches d'information décrivant à la fois le recul des falaises et les contraintes naturelles associées à chaque site en recul.

Au sein des systèmes dunes-plages, l'évolution du trait de côte a été mise en relation avec la localisation des sites érodés ou en accrétion, représentés par les polygones obtenus lors de l'étape 1, au sein des cellules sédimentaires identifiées le long des trois systèmes dunes-plages étudiés.

Dans un premier temps, l'analyse a cherché à identifier les limites des cellules sédimentaires afin de diviser l'espace littoral en trois types de sites théoriques identifiés précédemment : les sites sources, les sites de transits, et les sites puits. Afin de délimiter les cellules sédimentaires côtières, les schémas de transports sédimentaires doivent être préalablement établis (*Carter, 1986*). Dans le cadre de ces travaux, ils ont été obtenus en mettant en relation des données relatives à la climatologie des houles et des vents (chapitre 1), à la bathymétrie, à la nature sédimentologique des petits fonds, à l'exposition et l'orientation de la côte et aux variations du trait de côte (*Stapor et May, 1983, Levoy, 1994, Battiau-Queney et al., 2003*).

Les données hydrodynamiques discutées au chapitre 1 ont montré une prédominance durant la période étudiée des houles et des vents de secteur Ouest-Sud-Ouest et Ouest-Nord-Ouest. Sur le long terme, les données météorologiques (*METEO France, 1990, Lemasson, 1999, Pirazzoli, 2000, 2004*) témoignent d'un régime de vents similaire. Aussi, les schémas de transports ont-ils été établis pour des houles provenant d'un large secteur Ouest.

Les données concernant la bathymétrie, la couverture sédimentaire et l'orientation du trait de côte sont cartographiées sur les différentes couches d'informations présentées au chapitre 1. Les données représentant les variations du trait de côte sont issues des analyses effectuées lors de l'étape 1 (chapitre 4) et intègrent également une information concernant la morphologie de la côte. Ces couches d'information ont été superposées à l'orthophotographie datant de 2004. A partir de cette superposition, les schémas de transports sédimentaires ont été déterminés en cartographiant le comportement de la houle réfractée en fonction de l'ensemble de ces contraintes. De manière à valider l'approche SIG, les résultats obtenus pour le massif dunaire Gâvres-Penthièvre ont été comparés à des données obtenues par un travail de modélisation hydrosédimentaire réalisé à l'aide du modèle Mars S4 (Annexe D). Ce modèle a été lui-même validé par des mesures *in situ* de la magnitude et de la direction des courants à l'aide de courantomètre (ADCP de RD Instrument). Le courantomètre a été déposé au Sud de Groix (47°35.632'N – 3°23.192'W) (Carte II.9).

Les mesures de courants ont été réalisées du 2 Avril au 3 Mai 2008 par Safege (2008). Elles sont enregistrées toutes les dix minutes par couche de 1m au-dessus du fond.

Une fois les schémas de transports sédimentaires établis, les discontinuités susceptibles d'interrompre le transit des sédiments, de coïncider avec les limites des cellules sédimentaires et de définir les différents types de sites constituant les cellules sédimentaires ont été numérisées en mode vectoriel à partir de l'orthophotographie 2004. Cette opération a permis la création de trois nouveaux fichiers de forme, représentant sous forme de polygones, les types de sites (source-transport-puits) situés au sein des cellules sédimentaires identifiées le long des côtes étudiées.

Dans un second temps, les couches d'informations décrivant les types de sites identifiés au sein des cellules sédimentaires ont été intersectées avec les fichiers de formes décrivant les variations du trait de côte et obtenus lors de l'étape 1. Les intersections entre ces différentes couches d'information ont été effectuées à l'aide de la fonction *identity*.

Afin de compléter l'analyse des schémas de transport sédimentaire, les différences d'exposition par rapport aux houles et vents dominants ont également été prises en compte. Pour ce faire, chacune des couches d'informations créées par l'intersection entre les fichiers formes représentant les variations du trait de côte et les différents sites identifiés au sein des cellules sédimentaires, a été à nouveau intersectée à l'aide de la fonction *identity* avec les couches décrivant l'orientation du trait de côte et présentées au chapitre 1.

A l'issue de cette seconde étape, un ensemble de fichiers de forme a été obtenu, décrivant la localisation des sites en érosion et en accrétion au sein des différents systèmes côtiers étudiés, ainsi que les caractéristiques des différentes contraintes naturelles, associées à chaque site et susceptibles de contrôler cette évolution.

Afin de compléter l'analyse, un ensemble de données attributaires, décrivant l'augmentation des pressions anthropiques exercées sur la zone littorale, a été ajouté au cours d'une troisième étape. Les données prises en compte pour appréhender les pressions anthropiques exercées sur la frange littorale ont été présentées précédemment et leur impact sur le fonctionnement des systèmes côtiers a été largement discuté dans la littérature. Ce dernier point a été discuté au sein de la section précédente. L'objectif de ces travaux n'est pas d'examiner l'impact de ces contraintes sur chaque site en recul ou en accrétion, mais d'identifier des secteurs, ou des intervalles de temps, caractérisés par de fortes concentrations d'augmentation des contraintes anthropiques et d'examiner leurs interactions avec les dynamiques littorales.

L'objectif étant d'identifier une modification de la quantité ou de la nature des contraintes anthropiques opérant sur la frange littorale, mais non pas de quantifier leurs effets sur le fonctionnement de chaque site, ces dernières ont été renseignées dans les tables attributaires de manière qualitative (Figure II.9). Le choix de traiter des informations qualitatives tient également à la forte extension spatiale de la zone d'étude qui a rendu difficile l'obtention de données quantitatives concernant l'ensemble des cinq systèmes côtiers.

Les critères retenus pour appréhender les contraintes anthropiques exercées sur la frange littorale sont une augmentation de la présence de chemins côtiers et une augmentation des surfaces artificialisées. Ces critères ont été identifiés par photo-interprétation en comparant deux à deux les mosaïques et les orthophotographies correspondant à chaque pas de temps étudié.

L'impact de ces différents critères sur l'évolution des formes a été apprécié à différentes échelles spatiales. L'impact du chemin, qui canalise le piétinement, interagit avec l'évolution du front dunaire ou du sommet des falaises, localement, à l'échelle du site. Aussi, seuls ont été pris en compte les chemins dont le tracé est intersecté avec les polygones représentant les variations du trait de côte. Autrement dit, l'augmentation du nombre de chemins côtiers a été intégrée dans la base de données sous forme de données attributaires lorsqu'un cheminement piéton est non visible sur la mosaïque la plus ancienne, présent sur la mosaïque la plus récente, et qu'il est contenu partiellement ou totalement par les polygones représentant les variations du trait de côte sur le pas de temps étudié. L'impact des surfaces artificialisées concerne, à l'inverse, une échelle spatiale dont l'extension dépasse les limites des sites en érosion et/ou en accrétion : Lorsque les surfaces artificialisées concernent des surfaces urbanisées ou des routes, elles modifient l'accessibilité et la fréquentation du site. De manière à prendre en compte ces contraintes, l'augmentation des surfaces artificialisées a été identifiée dans une zone de 100m autour du trait de côte comparé le plus récent. Une zone tampon de 100m a été créée autour des polygones représentant la position la plus récente du trait de côte. Cette zone tampon a ensuite été superposée aux mosaïques. Lorsqu'une augmentation des surfaces artificialisées est visible au sein des zones tampons obtenues, cette augmentation a été spécifiée dans les champs attributaires des polygones concernés.

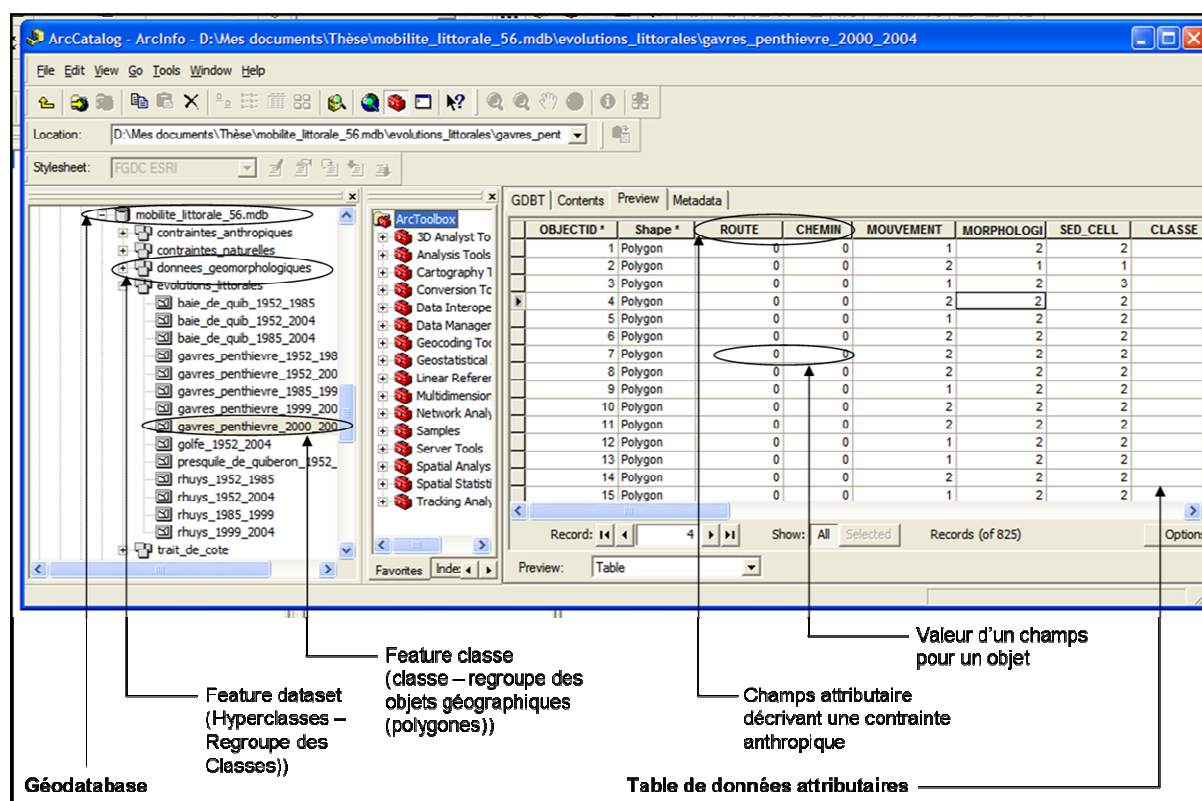


Figure II.9 : Extrait d'une table attributaire

Enfin, au cours d'une quatrième étape, des couches d'information ont été créées de manière à cartographier la localisation et les concentrations des sites concernés par une augmentation des pressions anthropiques. Ces différentes couches d'information correspondent à des mailles, obtenues à l'aide de l'outil de création et d'analyse par maille développé par Esri éditeur de ArcGis 9.2, et créées à partir des fichiers de formes et des données des tables attributaires issues des étapes 2 et 3. La méthodologie mise en place pour réaliser les grilles puis analyser la distribution des contraintes anthropiques est détaillée dans la section suivante.

## II.2. Analyse des relations spatiales entre les sites en érosion et en accrétion

Les données spatiales stockées dans la base de données relative à la mobilité du trait de côte ont ensuite été analysées en appliquant les principes de l'analyse spatiale. Ces derniers reposent sur l'hypothèse que la localisation d'un objet géographique est en soit un facteur explicatif, susceptible d'expliquer les caractéristiques de l'évolution ou du comportement de l'objet étudié. Cette hypothèse repose en partie sur la notion d'autocorrélation spatiale qui « mesure l'intensité de la relation entre la proximité d'un lieu et leur degré de ressemblance » (Pumain et Saint Julien, 2004).

Autrement dit, le principe d'autocorrélation spatiale permet de déterminer si la distribution spatiale des objets géographiques est liée au partage d'un ensemble de caractéristiques communes (*O'Sullivan et Unwin, 2003*). Cette autocorrélation n'implique pas nécessairement un lien direct de cause à effet entre deux objets mais présuppose un ensemble de liens de causalités conditionnelles telles que par exemple les deux objets dépendent d'un même système de causalité ou les deux objets ont besoin des mêmes conditions pour exister.

Dans le cadre de ces travaux, les objets géographiques étudiés sont des entités spatiales localisées au sein des cinq systèmes côtiers correspondant à des sites en érosion et en accrétion, représentés sous forme de polygones. A chaque polygone sont attribuées des données qualitatives représentant les caractéristiques des sites sur le pas temps étudié. L'objectif des analyses spatiales réalisées est de déterminer si la localisation des sites en érosion ou en accrétion est dépendante de ces caractéristiques. Les traitements effectués tendent à examiner dans quelle mesure les sites situés à proximité les uns des autres sont associés au même type de comportement (érosion vs accrétion) et de caractéristiques (morphologie, exposition, position par rapport aux courants de dérive, nature du couvert végétal, pressions anthropiques ...). Dans ce contexte, l'analyse spatiale s'appuie essentiellement sur les principes de causalités conditionnelles : elle recherche des associations spatiales de sites dont la localisation est associée aux mêmes conditions (mouvement et caractéristiques) afin d'identifier des espaces, au sein des systèmes côtiers caractérisés, par les mêmes types de comportement géomorphologique. Ces analyses cherchent à examiner si la répartition des sites en érosion et en accrétion peut être expliquée par la répartition spatiale des contraintes intégrées à la base de données.

Deux types d'analyse ont été mis en œuvre. Dans un premier temps, l'analyse a cherché à caractériser les tendances qui structurent l'agencement des sites étudiés dans l'espace à travers les notions d'espacement, de concentration et de diffusion (II.2.1). Ce premier niveau d'analyse a été mené à l'aide du module d'analyses statistiques et spatiales proposé par ArcGis 9.2. Cette analyse cherche à représenter de manière simplifiée l'agencement dans l'espace des différentes contraintes associées aux mouvements du trait de côte.

Dans un second temps, l'analyse a cherché à étudier les relations de proximité entre différents types de sites, définis par une concentration de caractéristiques communes, et la distribution spatiale des sites en érosion et en accrétion (II.2.2). Autrement dit, l'analyse a cherché à identifier des relations de voisinage entre des sites caractérisés par un même type d'évolution et une densité plus ou moins marquée de certaines contraintes. L'analyse fait alors intervenir différents niveaux scalaires : l'échelle du système côtier et les échelles définies par les différents niveaux de concentration. Cette analyse permet de suggérer des liens de dépendance, basés sur des principes de causalité relationnelle, entre l'évolution du trait de côte et la densité de certaines contraintes intégrées dans la base de données.

### II.2.1. Analyse de la distribution des contraintes « naturelles » et « anthropiques » au sein des systèmes côtiers

La distribution spatiale des contraintes naturelles et anthropiques a été cartographiée à l'aide d'un modèle graphique, basé sur des calculs de densité et de distance réalisés à partir des données attributaires associées aux couches d'information représentant les variations du trait de côte entre deux dates données.

L'objectif est de représenter schématiquement à partir d'indicateurs spatiaux la répartition spatiale des sites en érosion ou en accrétion ainsi que celle des contraintes étudiées. Ce type d'analyse permet d'identifier les phénomènes de concentration et de diffusion marquant la distribution spatiale des sites en érosion et en accrétion, en fonction de leurs caractéristiques (localisation dans la cellule sédimentaire, type de falaises, implantation de chemins ...). Elle permet de localiser des espaces marqués par une concentration de certains processus (sites en érosion *vs* sites en accrétion) et de certaines contraintes (type de falaise, localisation dans la cellule sédimentaire ...). L'interprétation de ces concentrations conduit à identifier des évolutions ou des comportements géomorphologiques particuliers, associés à la concentration de ces processus et de ces contraintes dans un espace donné. A l'inverse, une forte dispersion témoigne de la complexité du système côtier étudié en montrant que les différents processus et contraintes étudiés sont agencés de manière ubiquiste au sein de l'espace étudié et sont caractérisés par une aire d'influence plus vaste.

D'une manière générale, la méthode consiste à calculer la distance existant entre chaque polygone caractérisé par les mêmes valeurs pour un champ attributaire donné. Puis, une distance standardisée est calculée, prenant en compte l'ensemble des distances existantes entre chaque polygone associé aux différents attributs. Cette analyse a été effectuée en plusieurs étapes.

Dans un premier temps, les centroïdes des polygones en érosion et en accrétion, sur un pas de temps donné, ont été créés et représentés sous forme de points à l'aide du module « *feature to points* ». Dans un second temps, les distances standardisées ont été mesurées en fonction de chaque valeur prise par les champs attributaires à partir du module « *standard distance* ». Cette distance est ensuite représentée à l'aide d'un cercle ayant pour rayon la valeur de la distance standardisée (Figure II.10), et pour centre, le centre de gravité du nuage de points constitué par les centroïdes des polygones associés à chaque attribut sélectionné. La distance standardisée ainsi obtenue s'apparente à un indicateur spatial, permettant de cartographier le degré de concentration ou de dispersion d'entités spatiales autour d'un point central. Des concentrations importantes impliquent la création de cercles dont les rayons sont plus petits que les cercles associés à la représentation de phénomènes spatialement plus étalés.

La position du cercle au sein des systèmes côtiers indique la position du centre de gravité du nuage de points représentant la distribution du phénomène étudié. Ce type de modélisation graphique renseigne sur l'importance des phénomènes de concentration et de dispersion, mais n'apporte pas d'information sur la forme du semis de points. L'analyse de la géométrie des distributions spatiales cartographiées a été complétée à l'aide du module « *Directional distribution* » qui permet de déformer les cercles obtenus en ellipses traduisant l'orientation de la distribution des objets géographiques étudiés.

La figure II.9 offre un exemple schématique du type de modélisation graphique obtenu par cette méthode. Elle représente un ensemble de sites côtiers fictifs, cartographiés à l'aide d'un semis de points. Deux champs attributaires « morphologie » et « mouvement » sont associés à chaque point. Le champ attributaire « morphologie » décrit la morphologie du site. Il peut prendre pour valeur soit « falaise », soit « plage ». Le champ attributaire « mouvement » décrit les variations du trait de côte entre deux dates données et peut prendre pour valeur « érosion » ou « accrétion ». Les falaises sont fortement concentrées et forment une pointe rocheuse à l'Ouest du trait de côte, alors que les plages sont dispersées de part et d'autre de la pointe rocheuse, sur toute la longueur du linéaire côtier. Par conséquent, le cercle synthétisant la distribution spatiale des falaises est caractérisé par un rayon presque 10 fois plus petit que celui représentant la distribution spatiale des plages. La distribution spatiale et l'orientation du nuage de points associés aux sites en érosion et en accrétion sont représentées à l'aide du module « *directional distribution* ». La représentation des sites en érosion et en accrétion décrit deux cas de figure. Dans le premier cas, les processus d'érosion sont concentrés autour de la pointe rocheuse et des plages adjacentes alors que les sites en accrétion concernent l'ensemble des plages situées à l'Ouest et à l'Est de falaises (Figure II.10a). Il en résulte que l'ellipse représentant les sites en érosion est concentrée autour de la pointe rocheuse. Elle tend à être superposée au cercle représentant la distribution des falaises. A l'inverse, l'ellipse représentant la distribution des sites en accrétion s'étend sur l'ensemble du linéaire côtier. Cette représentation schématique des distributions spatiales des sites caractérisés par différentes valeurs des champs attributaires « morphologie » et « mouvement » permet d'individualiser un espace caractérisé par un processus particulier (érosion) et une contrainte particulière (falaise). Dans le deuxième cas, les sites en érosion sont dispersés au sein des plages, sur la quasi-totalité du linéaire côtier (Figure II.10b). Cette plus forte dispersion est représentée par une ellipse s'étendant sur l'ensemble du linéaire côtier. La surreprésentation des sites en érosion au niveau des falaises est toutefois indiquée par le glissement vers l'Est de l'ellipse représentant leur distribution. A l'inverse, le centre de gravité de l'ellipse représentant les sites est davantage basculé vers l'Ouest, montrant la prédominance des plages en accrétion dans ce secteur.



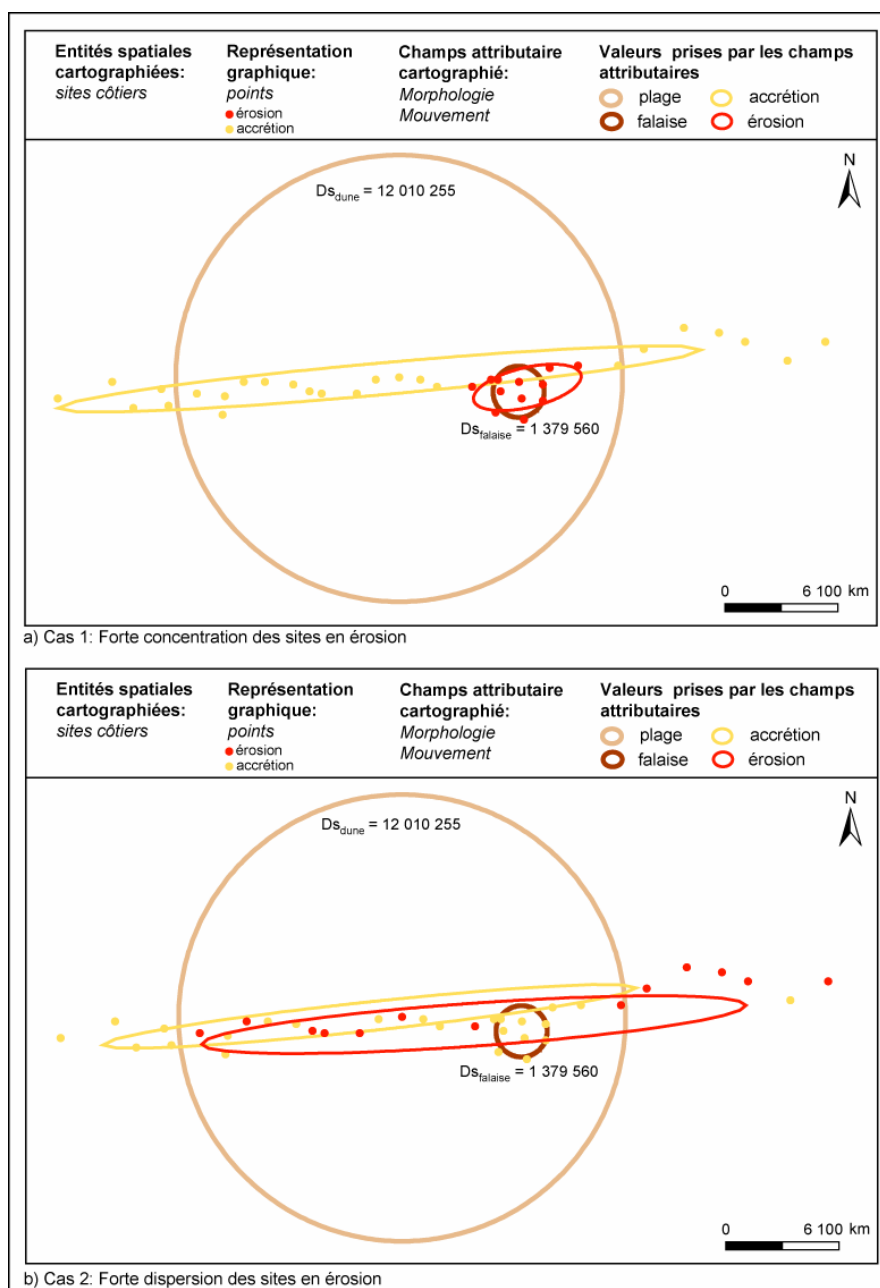


Figure II.10: Représentation schématique des modèles graphiques obtenus à partir du calcul de la distance standardisée.

Ce premier niveau d'analyse permet essentiellement de décrire l'agencement dans l'espace des données étudiées et de formuler une hypothèse sur le type ou les types de fonctionnement géomorphologique associé à la disposition de ces données au sein des systèmes côtiers.

### II.2.2.. Analyse des relations de voisinage

Le second niveau d'analyse spatiale s'intéresse aux relations de proximité entre les distributions spatiales des différentes données étudiées. L'analyse des relations de voisinage cherche à mettre en relation la répartition spatiale des sites en érosion ou accrétion avec la densité des sites associés à chaque contrainte étudiée. Ce type d'analyse permet d'identifier des phénomènes de concomitances spatiales en localisant des espaces caractérisés par les mêmes associations de contraintes et les mêmes mouvements du trait de côte. L'interprétation de ces concomitances spatiales conduit à identifier et localiser différents types de comportements géomorphologiques.

Dans un premier temps, la densité des sites concernés par une augmentation des pressions anthropiques a été cartographiée à l'aide d'un maillage élaboré à partir des champs des tables attributaires obtenues à l'issue de l'étape 3 (Figure II.8). Les grilles sont obtenues à l'aide de *l'outil de création et d'analyse par maille* développé par la société ESRI, éditeur des gammes ArcGis. Cet outil permet de créer un maillage régulier de polygones à partir des entités spatiales contenues sur une autre couche, en transférant sur chaque maille plusieurs valeurs statistiques calculées à partir d'un champ attributaire de la couche d'origine. Dans le cadre de ces travaux, les entités spatiales à partir desquelles les grilles ont été élaborées sont les polygones obtenus lors des traitements présentés précédemment (Figure II.8 – étape 2). Les champs attributaires retenus sont ceux qui décrivent une augmentation des pressions anthropiques (Figure II.8- étape 3).

Afin d'établir le maillage des grilles créées, plusieurs tests ont été effectués en choisissant différentes résolutions spatiales comprises entre 1000m et 200m. La résolution retenue doit permettre d'obtenir des cartes lisibles à l'échelle du secteur. Elle dépend de l'extension spatiale des secteurs considérés et du niveau de détails requis pour l'analyse visuelle de la distribution des contraintes anthropiques. Les tests effectués avec une résolution inférieure à 200m ont produit un ensemble de données trop volumineux et n'ont pas été retenus. Les grilles réalisées à partir d'une résolution égale à 200m présentent des niveaux d'agréations trop détaillés, rendant illisibles les cartes obtenues. Pour le massif dunaire Gâvres-Penthièvre, la baie de Quiberon et le Golfe du Morbihan, où la longueur du linéaire côtier étudié est respectivement d'environ 50 km, 100 km et 230 km, une résolution de 1000m a été retenue.

Pour la presqu'île rocheuse de Quiberon et les plages de la presqu'île de Rhuys, caractérisées par une extension spatiale plus réduite (25 km et 15 km environ respectivement), une résolution de 500m a été retenue.

Pour les systèmes dunes-plages, trois grilles ont été créées à partir des tables attributaires associées aux fichiers de forme décrivant les variations du trait de côte sur différents pas de temps: une première grille est créée à partir de l'attribut *présence de chemins* afin de décrire la distribution spatiale des sites concernés par une augmentation du nombre de chemins, une seconde à partir de l'attribut *présence de surfaces artificialisées* et enfin une troisième à partir d'un champ attributaire nommé contraintes anthropiques et décrivant toutes les augmentations des contraintes, quelque soit leur nature. Pour les grilles décrivant la distribution spatiale des sites concernés par une augmentation du nombre de chemins ou de surfaces artificialisées, les valeurs des attributs *chemins* et *surfaces artificialisées* des couches sources sont transférées sur chaque maille. Lors du transfert des valeurs des attributs, les valeurs sont additionnées et la somme pondérée en fonction de la surface des polygones intersectés par les mailles de la grille. Cette opération permet d'obtenir un champ attributaire pour chaque grille, décrivant le nombre de fois qu'une augmentation du nombre de chemins et/ou des surfaces artificialisées a été répertoriée. A partir de cet effectif, les secteurs caractérisés par une forte concentration de l'augmentation des contraintes anthropiques ont pu être cartographiés. La troisième grille décrivant l'augmentation totale des contraintes anthropiques est obtenue en intersectant les deux grilles précédentes et en ajoutant l'effectif des attributs décrivant la concentration des chemins et surfaces artificialisées pour chaque maille. Pour cartographier les résultats, les effectifs sont regroupés en différentes classes à l'aide de la méthode de discrétisation *natural breaks*.

Pour les systèmes de falaises, le même type de grille a été élaboré, en suivant la même méthodologie, à partir des tables attributaires associées aux fichiers de forme représentant le recul du sommet des falaises entre 1952 et 2004. L'analyse s'est intéressée aux variables suivantes : augmentation des chemins, augmentation des surfaces artificialisées et type de couvert végétal établi sur le sommet des falaises. Pour chaque système de falaises, trois grilles sont ainsi créées à partir des champs attributaires chemins, surfaces artificialisées et type de couvert végétal.

Dans un deuxième temps, ces différentes couches d'information ont été superposées aux fichiers de forme représentant les variations du trait de côte en fonction des contraintes naturelles obtenues par l'étape 2 de la figure II.8. Pour les systèmes dunes-plages, les données attributaires cartographiées à partir des fichiers de forme sont les mouvements du trait de côte (érosion vs accrétion) et la position des sites en mouvement au sein des cellules sédimentaires (sites sources- sites de transport – sites puits). Pour les systèmes de falaises, les données attributaires cartographiées sont le type de falaise ainsi que les différentes classes de recul.

L'ensemble de ces opérations a permis d'aboutir à la création de cartes décrivant la répartition spatiale des sites en érosion et en accrétion, en fonction d'une part de ces contraintes naturelles, et d'autre part de la densité des contraintes anthropiques exercées sur la côte.

### III. TRAITEMENTS STATISTIQUES : METHODE APPLIQUEE

L'objectif des analyses statistiques développées dans le cadre de ces travaux est de compléter l'analyse des associations spatiales établies à partir des analyses précédentes. Elles cherchent à identifier la dépendance statistique entre les différentes variables associées aux mouvements du trait de côte et d'analyser leurs influences relatives sur l'évolution du trait de côte.

L'analyse statistique mise en place comprend deux étapes principales : la première étape décrit sous forme d'histogrammes les principales caractéristiques des contraintes contenues dans la base de données. La seconde étape s'emploie à analyser les relations de dépendance entre les mouvements du trait de côte et les contraintes intégrées à la base de données. Cette analyse est elle-même réalisée en deux temps: dans un premier temps, l'analyse vérifie les liens de dépendance entre couples de variables (ie. Evolution du trait de côte et position dans la cellule sédimentaire). Dans un second temps, l'analyse examine globalement les relations de dépendance entre l'ensemble des variables à partir d'analyses multifactorielles. Les traitements statistiques sont effectués, à l'aide du logiciel XlStat, à partir de tableaux de données issus des tables attributaires contenues dans la base de données relative à la mobilité du trait de côte en Bretagne Sud.

Au total, quatorze tableaux de données ont été extraits de cette base de données. Parmi ces quatorze tableaux, douze correspondent aux données traitées pour les différents intervalles de temps étudiés au sein des systèmes dunes-plages et deux représentent les données traitées pour les systèmes de falaises. Dans ces tableaux de données, les variables correspondent aux différents champs attributaires et les modalités aux valeurs prises par les attributs. Comme indiquée dans la section précédente, les contraintes naturelles et anthropiques sont intégrées à la base de données sous forme de données qualitatives, à l'exception des valeurs de surface en érosion et/ou en accrétion. Il en résulte que les variables traitées sont également de nature qualitative, excepté les valeurs de surface. De manière à créer des tableaux de données caractérisées par des variables de même nature, les valeurs des surfaces en érosion et en accrétion ont été discrétisées en 5 ou 6 classes, selon les secteurs, en suivant la méthode des « *natural break* » proposée par ArcGis 9.2. Ces types de discrétisation permettent d'obtenir des classes contenant des effectifs similaires, limitant ainsi les effets perturbateurs introduits par l'existence de modalités caractérisées par de faibles effectifs (*Escoffier et Pagés, 1998*) dans les traitements réalisés par la suite. Pour les quatorze tableaux traités, la classe 1 correspond aux valeurs des surfaces en mouvement les plus faibles.

### **III.1. Description des modalités et des variables utilisées pour caractériser les systèmes côtiers**

Cette première étape de l'analyse décrit les caractéristiques des systèmes côtiers étudiés au cours des différents intervalles de temps pendant lesquels les variations du trait de côte sont analysées.

Les effectifs des modalités associées aux différentes variables sont obtenus à partir de la base de données, à l'aide des requêtes SQL. Ils sont représentés de manière graphique, sous forme d'histogrammes construits de la manière suivante : pour chaque système côtier, les modalités associées à une ou deux variables sont représentées, pour chaque pas de temps. Les graphiques obtenus présentent l'évolution de l'effectif des modalités associées à une variable ou un groupe de variables dans le temps.

Afin d'explorer l'ensemble de la base de données, les effectifs de l'ensemble des modalités associées à chaque variables ont été calculés. Ces résultats permettent de déterminer le nombre de sites caractérisés par un certain type de mouvement du trait de côte (érosion vs accrétion) et les caractéristiques associées à ces sites. Afin d'alléger la présentation des résultats et d'éviter des redondances avec la présentation des résultats issus du travail de cartographie des variations du trait de côte (I) et des analyses spatiales (II), seule une partie des résultats obtenus est discutée au chapitre 5. Les histogrammes retenus sont créés de manière à représenter le pourcentage des sites étudiés associés ou non à une augmentation des contraintes anthropiques. Ces premiers types d'histogramme permettent d'évaluer l'importance de l'anthropisation de l'espace au sein de chaque système côtier. Cette analyse est complétée par un deuxième type d'histogramme montrant l'importance relative des surfaces artificialisées et des chemins côtiers au sein des sites concernés par une forme d'anthropisation de l'espace littoral. Ce deuxième type de graphiques permet de visualiser les contraintes anthropiques les plus fréquemment associées aux sites étudiés. L'ensemble de ces graphiques est obtenu à partir de la variable « mouvement du trait de côte », pouvant prendre deux modalités : « érosion » ou « accrétion » et des variables « surfaces artificialisées » et « augmentation des chemins » pouvant prendre pour modalités « présence » ou « absence ».

### **III.2. Analyse des relations de dépendance par groupe de deux variables**

La deuxième étape de l'analyse consiste à vérifier les liens de dépendance entre les variables analysées. Elle cherche à établir si les effectifs comptabilisés sont significatifs d'une relation de dépendance statistique

De manière à effectuer ce type d'analyse, les modalités associées aux groupes de deux variables étudiées ont été retranscrites dans des tableaux de contingence. Là encore, de manière à alléger la présentation des résultats de l'analyse, l'ensemble des tableaux réalisés ne seront pas discutés au sein du chapitre suivant. Certains seront présentés en annexe (Annexe E) et tous ne seront pas analysés en détails. Par exemple, pour chaque secteur et chaque pas de temps, des tableaux de contingence croisant deux-à-deux les variables « mouvements du trait de côte », « classe de recul », « localisation dans la cellule sédimentaire », « présence d'infrastructure » et « présence de chemins côtiers » ont été élaborés.

La dépendance statistique entre ces variables est analysée à partir du test du  $\chi^2$  qui permet de vérifier l'existence d'un lien statistique entre un couple de variables. Lorsque le test du  $\chi^2$  permet d'affirmer que l'hypothèse de dépendance est vraie, la distribution des modalités ne peut être considérée comme aléatoire et il est possible de mettre en évidence l'existence d'un processus, mettant en relation les deux variables étudiées et déterminant cette distribution statistique. A l'inverse, lorsque l'hypothèse de dépendance est rejetée, la distribution statistique des modalités est aléatoire et ne traduit aucune relation statistique entre les variables étudiées. En ce qui concerne l'analyse des facteurs contrôlant l'évolution du trait de côte, ce deuxième cas de figure peut renvoyer à deux types de situations : soit il n'y a aucune relation de cause à effet entre l'évolution du trait et le facteur testé ; soit l'évolution du trait de côte est déterminée par un ensemble de facteurs fortement liés entre eux, et l'analyse d'un seul de ces facteurs ne permet pas d'expliquer les tendances caractérisant l'évolution du trait observé.

### III.3. Analyse multifactorielle et classification des tableaux de données

Les tableaux de données traités dans le cadre de ces travaux sont composés de 8 variables pour les systèmes dunes-plages, pouvant prendre au total 25 modalités différentes, et de 5 variables pour les systèmes de falaises pouvant prendre 14 modalités différentes au total. Les traitements présentés précédemment permettent d'analyser les relations entre couples de variables. Les méthodes multivariées d'analyses de données permettent l'étude de tableaux de données plus complexes, composés d'un nombre important de variables et de modalités. Ces techniques facilitent l'analyse des masses d'information complexes en proposant une représentation simplifiée des grands tableaux de données (Escoffier et Pagès, 1998). Elles s'apparentent ainsi à des outils de synthèse permettant d'extraire les grandes tendances caractérisant l'information délivrée par l'ensemble des données, de les hiérarchiser et d'éliminer les effets marginaux pouvant être assimilés à des bruits (Escoffier et Pagès, 1998). Dans le cadre de ces travaux, elles présentent l'avantage de pouvoir examiner, d'un seul tenant, l'ensemble des relations entre les variables associées aux variations du trait de côte.

Parmi l'ensemble des méthodes d'analyses multivariées, l'analyse factorielle est l'une des plus utilisées. Elle permet une représentation géométrique des relations entre les données en transformant en distances euclidiennes des proximités statistiques entre les données (*Escoffier et Pagès, 1998*). Afin de traiter des données géographiques, l'analyse factorielle est fréquemment utilisée conjointement à une méthode de classification des données qui regroupe les individus à partir de critères de ressemblance ou de dissemblance (*Sanders, 1990*). Lorsque les données traitées sont de nature qualitative, l'analyse factorielle couramment utilisée est l'Analyse Multiple des Correspondances (ACM). Cette analyse est complétée par une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) des individus réalisée à partir des coordonnées des individus sur les axes factoriels (*Sanders, 1990*). L'ACM joue un rôle de filtre en supprimant les variables non significatives et les classifications obtenues ne prennent en compte que les éléments essentiels de l'information (*Escoffier et Pagès, 1998*). En outre, la CAH permet de compléter les informations délivrées par les ACM en identifiant les individus concernés par les associations de variables décrites par les axes factoriels. Enfin, les résultats obtenus peuvent être facilement cartographiés (*Carpentier, 2005*) facilitant ainsi la visualisation et l'analyse des résultats en replaçant les associations d'individus (et de variables) dans leur contexte spatial.

### III.3.1. L'Analyse en Composante Multiple (ACM)

Les Analyses en Composante Multiple cherchent à examiner les liens entre les modalités de l'ensemble des variables d'un tableau de données, pour chaque individu (*Escoffier et Pagès, 1998*).

Dans le cadre de ces travaux, les ACM permettent une analyse globale des facteurs expliquant l'évolution du trait de côte, et leurs résultats peuvent être mis en relation avec les résultats des analyses spatiales. Le principe de l'analyse peut être résumé de la manière suivante (*Minvielle et Souiah, 2003*): lorsqu'un phénomène est représenté par un tableau de données composé de  $n$  individus et  $p$  variables, l'information contenue dans le tableau peut être représentée par un nuage de points au sein duquel la position de chaque individu est déterminée par les modalités prises pour chacune des  $p$  variables. Autrement dit, chaque individu est projeté sur un plan à  $p$  dimensions et sa position est définie par  $p$  coordonnées. L'ACM cherche à réduire le nombre de dimensions de l'espace où est projeté le nuage de points en déterminant des axes factoriels remplaçant les variables d'origine. Les axes factoriels sont une combinaison linéaire des variables d'origines choisie de manière à maximiser l'inertie du nuage de points : sur chaque axe, la variance des coordonnées des points est maximisée. Dans le cadre d'une ACM, la variance est calculée à partir de la distance  $Khi^2$ .

La somme de la variance de chaque axe factoriel est égale à la somme de la variance des  $p$  variables et à la variance totale du nuage de points. Les axes factoriels sont ordonnés en fonction du pourcentage de la variance totale du nuage de points qu'ils expliquent.

Les ACM permettent ainsi de définir, pour chaque pas de temps, et chaque secteur, un certain nombre d'axes factoriels où sont projetées les modalités étudiées sur un plan multidimensionnel, représentant l'ensemble de l'information contenue dans la base de données. Le premier axe est caractérisé par un fort pouvoir discriminant: les variables qui y sont projetées sont celles qui contribuent le plus à expliquer le phénomène représenté par la distribution statistique du nuage de points. Les axes 2 et 3, et dans une moindre mesure les axes suivants, permettent d'expliquer l'information résiduelle contenue dans le tableau de données.

Les variables et les modalités, ou les individus, peuvent être représentés graphiquement dans l'espace défini par les axes factoriels. Dans le cas d'une ACM, on retient un nombre d'axes qui permet d'expliquer au moins 30% de l'inertie totale (*Minvielle et Souiah, 2003*). Pour chacune des analyses effectuées, les graphiques représentant les modalités dans le plan factoriel défini par les deux premiers axes sont présentées. Les tableaux définissant les coordonnées de chaque modalité sur les axes (tableaux des cosinus carrés) sont présentés en annexe (Annexe F). A partir de ces tableaux, l'interprétation des axes et l'identification des variables qui contribuent à les définir reposent sur l'analyse du cosinus carré entre la modalité de la variable et l'axe, la contribution de la modalité et sa coordonnée sur l'axe.

Ainsi, dans le cadre de ces travaux, l'interprétation des résultats s'est essentiellement concentrée sur l'analyse de la position des variables et de leur modalité au sein des plans factoriels. Ce type d'analyse permet d'identifier des groupes de modalités, correspondant à différentes contraintes et différents mouvements du trait de côte, statistiquement associés. Autrement dit, ce type d'analyse permet de lier certains mouvements du trait de côte à certains facteurs. Au sein des systèmes dunes-plages d'une part, et des systèmes de falaises d'autre part, les variables étudiées sont les mêmes sur tous les pas de temps. A l'inverse, les individus, qui résultent de l'intersection entre deux polygones représentant une position différente du trait de côte (Chapitre 4 – I), sont différents au sein des quatorze tableaux étudiés.

### III.3.2. La Classification ascendante hiérarchique

Les méthodes de classification visent à regrouper  $n$  individus, caractérisés par  $p$  variables, en différentes classes, suivant des critères de ressemblance (*Minvielle et Souiah, 2003*).



Les résultats obtenus mettent l'accent sur les individus et non sur les variables. Le phénomène représenté par le nuage de points est analysé en regroupant les individus qui se ressemblent le plus, permettant ainsi de définir des regroupements qui correspondent à des modes de comportement distincts. Dans le cas d'une classification hiérarchique, l'appartenance d'un individu à une classe dépend du degré de précision et du nombre de classes retenues pour l'analyse (Carpentier, 2005). Le regroupement s'effectue à partir de différents niveaux de classification. Au sein de chaque niveau, le regroupement est défini à partir des classes du niveau inférieur. Cet emboîtement est représenté par un arbre hiérarchique ou dendrogramme illustrant les différents rassemblements effectués (Figure II.11).

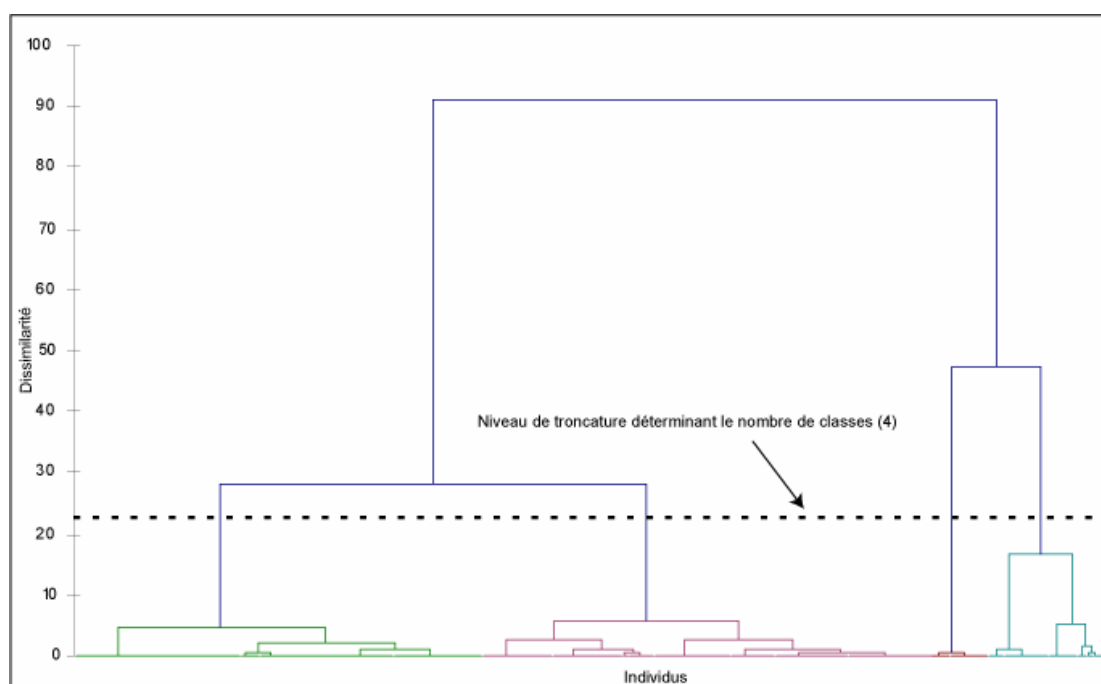


Figure II.11 : Exemple de dendrogramme

La ligne pointillée représente le niveau de troncature, c'est-à-dire le niveau à partir duquel l'arbre est sectionné. Ce niveau détermine le nombre de classes retenues pour l'analyse, qui s'élève à quatre dans l'exemple de la figure II.11.

Le premier regroupement cherche à assembler les deux individus qui se ressemblent le plus. Ces deux individus forment alors une classe. Puis, lors du deuxième niveau d'analyse, les deux classes qui se ressemblent le plus sont associées jusqu'à ne plus obtenir qu'une seule classe.

Les critères de ressemblance sont définis à partir des indices de dissimilarité entre individus et à partir de l'indice d'agrégation entre les classes. Pour chaque regroupement, l'inertie (ou distance) entre les individus ou entre les classes est minimisée (Minvielle et Souiah, 2003). Autrement dit, la variance intra-classe est minimisée.

A l'inverse, la variance inter-classe est maximisée de manière à obtenir des classes d'individus semblables, bien différenciées les unes des autres. Ces résultats peuvent ensuite être cartographiés.

Il existe plusieurs méthodes pour calculer les distances entre individus et entre classes (*Carpentier, 2007*). Ces méthodes dépendent du type de données utilisées. Dans le cadre de nos travaux, la classification a été réalisée à partir des coordonnées des individus sur les axes factoriels obtenus à partir d'une ACM (*Escouffier et Pagès, 1998*). Le logiciel Xlstat propose différentes méthodes pour calculer les indices de dissimilarités et d'agrégation. Les distances des coordonnées des individus sur les axes factoriels ont été calculées à partir d'une distance euclidienne et la méthode d'agrégation choisie est la méthode de WARD. Avec cette méthode, les regroupements des individus puis des classes sont effectués de manière à regrouper les classes par ensembles de deux au sein desquels la variance inter-classe est minimisée (*Escouffier et Pagès, 1998*).

Les résultats sont présentés sous forme de tableaux et de cartes insérés dans le texte. Les tableaux synthétisent le nombre de classes identifiées et les variables associées aux objets centraux des classes. Chaque individu contenu dans une classe se voit attribué un code numérique représentant le numéro de sa classe d'appartenance. Les dendrogrammes sont présentés en annexe (Annexe G). Dans les tableaux de données initialement analysés (issus des tables attributaires), les individus sont identifiés à partir de la clé d'identification définie au sein de la géotadabase et associée à chaque polygone. Ainsi, les tableaux résultant des CAH et listant le nombre d'individu et leurs classes et les tables attributaires des fichiers formes représentant les sites analysés contiennent un champ commun. Les fichiers excels synthétisant la classe d'appartenance de chaque individu ont été exportés en format dbf. A partir des fichiers dbf, une jointure a été réalisée entre les tables attributaires des fichiers formes représentant les sites analysés et les résultats issus des CAH.

Les résultats des CAH ont ensuite été cartographiés de manière à localiser les sites (individus - polygones) associés à chaque classe et leur répartition spatiale au sein des systèmes côtiers étudiés.

### Synthèse du chapitre 4

La méthode mise en place pour quantifier et analyser les variations du trait de côte au sein des cinq systèmes côtiers étudiés repose sur l'analyse diachronique de photographies aériennes et l'utilisation d'un ensemble de données spatiales intégrées dans une géodatabase. Les données spatiales utilisées proviennent soit des données de références présentées au chapitre 1, soit de traitements réalisés à partir des couches d'information pré-existantes ou initialement créées. L'ensemble de la démarche méthodologique comprend en trois étapes.

Premièrement, les surfaces marquées par une avancée ou un recul du trait de côte sont mesurées à partir de photographies aériennes.

Deuxièmement, une base de données spatiales est élaborée pour mettre en relation les données quantitatives quant aux variations du trait de côte avec des données qualitatives, caractérisant les différentes contraintes ou facteurs susceptibles d'interagir avec les mouvements du trait de côte. L'utilisation de données qualitatives pour décrire les facteurs associés aux mouvements du trait de côte a été rendue nécessaire par la forte expansion spatiale des systèmes côtiers étudiés, l'absence de données quantitatives disponibles pour certaines contraintes et la volonté d'appréhender un ensemble de données renvoyant à des différents types de contraintes très différentes les unes des autres. Les choix méthodologiques ont ainsi privilégiés les informations qualitatives permettant de décrire la nature des contraintes exercées sur le trait de côte suivant différentes catégories nominatives, applicables à l'ensemble des systèmes côtiers étudiés. De cette manière, une comparaison des différents modes de fonctionnement mis en place peut être opérée. A partir de cette base de donnée, deux types d'analyses spatiales sont conduits. Ces analyses visent à identifier un certain nombre de facteurs ou de contraintes, spatialement associés aux variations mesurées du trait de côte. L'identification de concomitance spatiale associant des fortes concentrations de contraintes et certains types de mouvements du trait de côte permet de soulever un certain nombre d'hypothèses quant au comportement des systèmes côtiers. Toutefois, l'utilisation de données qualitatives pour décrire les contraintes exercées sur le trait de côte ne permet pas la mise en place d'analyse quantitative aboutissant à une identification du poids relatif de chacun des facteurs étudiés dans l'explication des mouvements du trait de côte.

Troisièmement, les analyses spatiales sont complétées par plusieurs types d'analyses statistiques visant à décrire les bases de données étudiées, analyser les liens de dépendance entre les variables et vérifier la signification statistique, suggérée par les analyses spatiales, des relations entre les variables contribuant à définir différents types de comportement géomorphologiques.

Ainsi, la méthode mise en place repose sur une combinaison d'analyses spatiales et statistiques, rendues possibles à partir des fonctionnalités analytiques proposées par les SIG. Bien qu'essentiellement qualitative, un des atouts essentiels de cette démarche méthodologique réside dans les possibilités de mettre en relation, à l'échelle des systèmes littoraux et en prenant en compte la totalité des linéaires côtiers, des évolutions géomorphologiques représentées par les variations du trait de côte avec les caractéristiques des contraintes exercées sur la côte.

## **CHAPITRE 5 : INTERPRETATION DES RESULTATS ET ANALYSE DES CONTRAINTES NATURELLES ET ANTHROPIQUES CONTROLANT LA CINEMATIQUE DU TRAIT DE COTE**

Le chapitre 5 a pour objectif de discuter des types de comportements géomorphologiques caractérisant les systèmes côtiers sud bretons, en identifiant les différentes contraintes associées spatialement et statistiquement aux évolutions des formes littorales sur les moyen et long termes. Cette discussion est mise en place à partir de la présentation et de l'interprétation de l'ensemble des résultats obtenus par les différentes analyses décrites au chapitre précédent. Le chapitre 5 est divisé en trois parties, reprenant les trois types de traitements réalisés. La première partie est consacrée à la présentation des résultats obtenus par l'analyse des variations du trait de côte, par systèmes côtiers, et pour chaque intervalle de temps étudié. La deuxième partie propose une présentation détaillée des différentes informations obtenues lors de la constitution et de l'analyse de la base de données spatiales relative à la mobilité du trait de côte en Bretagne Sud. Enfin, la troisième partie se propose de détailler et d'interpréter les résultats obtenus par l'analyse statistique des tableaux de données issus de cette même base de données.

### **I. CARTOGRAPHIE DES VARIATIONS DU TRAIT DE COTE PAR SECTEUR**

Cette première section s'emploie à présenter les résultats obtenus par l'analyse diachronique des variations du trait de côte. Pour chaque système côtier défini comme un système dune-plage (Partie I), les grandes tendances marquant l'évolution des indicateurs géomorphologiques cartographiés entre 1952 et 2004 sont d'abord présentées. Puis, dans un second temps, les résultats obtenus sur des pas de temps plus courts sont exposés. Pour les systèmes de falaises, seules les tendances marquant l'évolution du trait de côte sur le long terme, entre 1952 et 2004, ont été cartographiées et sont présentées.

#### **I.1. Le massif dunaire Gâvres – Penthievre**

Cette première section présente les résultats obtenus concernant l'évolution du trait de côte au sein du massif dunaire Gâvres – Penthievre. Sur le temps long, les variations du trait de côte ont été analysées entre 1952 et 2004, soit un pas de temps d'environ cinquante ans. Sur le moyen terme, quatre pas de temps intermédiaires ont été analysés entre 1952-1985, 1985-1999, 1999-2000 et 2000-2004. Ils représentent des intervalles de temps inégaux. Les différentes valeurs des surfaces en érosion et en accrétion discutées doivent ainsi être reportées à des pas de temps de durées inégales.

### I.1.1. Les grandes tendances marquant l'évolution du trait de côte (1952 - 2004)

Entre 1952 et 2004, le comportement du littoral est dominé par des phénomènes d'accrétion. Le total des surfaces concernées par une progression du front dunaire s'élève à plus de 933 000m<sup>2</sup> (Tableau III.3). Le total des surfaces érodées s'élève à plus de 80 000 m<sup>2</sup>. Toutefois, 46% des polygones répertoriés, hors marge d'erreur, le long du linéaire côtier (carte II.1a) enregistrent un recul du front dunaire. Ces chiffres signifient que les sites marqués par un recul du trait de côte sont quasiment aussi fréquents que les sites associés à une progradation du front dunaire, mais ils concernent des surfaces plus réduites. Les sites en érosion concernent d'abord les falaises de la pointe de Gâvres. Ils sont également présents au Nord du massif dunaire où ils renvoient à une érosion du front dunaire, au niveau de la plage de Gâvres et au Nord de la plage de la Falaise. Les secteurs en accrétion sont principalement situés le long du massif dunaire, entre Gâvres et Penhièvre. Quelques poches d'érosion, bien localisées, sont en outre visibles le long du massif dunaire, au Nord de la ria d'Etel, au niveau de la plage du Magouëro ou au Sud de la plage de la Falaise, tout comme au Sud de la ria, au Sud de la plage de Kerminthy, la plage de Kérouriec ou, enfin, de manière très localisée, au Nord de la plage de Kerhillio (carte II.1a). Ces observations indiquent que la dynamique sédimentaire, au sein des massifs dunaires, demeure globalement positive, permettant la progression significative, en surface, des espaces végétalisés sur les dunes, malgré la présence de poches d'érosion jalonnant le massif dunaire.

Enfin, il convient de souligner que les surfaces en mouvement sur cette période ne représentent qu'environ 9% des surfaces couvertes par la totalité du massif dunaire, incluant la dune mobile et la dune grise.

### I.1.2. L'évolution sur les pas de temps intermédiaires

Les cartes suivantes présentent les résultats obtenus sur des pas de temps plus courts, entre 1952-1984, 1984-1999, 1999-2000 et 2000-2004.

#### 1952 – 1984:

Sur la période 1952-1984, 41% des polygones répertoriés sont en érosion, et 59% en accrétion (Carte III.1b). En terme de surface, les processus de recul du trait de côte représentent un peu moins de 331 617m<sup>2</sup> pour l'ensemble du secteur alors que les processus d'accrétion concernent 315 958 m<sup>2</sup> (Carte II.1b). Une part importante des polygones concernés par le recul du trait de côte est située au sein du massif dunaire. En effet, 90 % du total des polygones en érosion correspondent à un recul du front dunaire, ce qui équivaut sur l'ensemble du massif à plus de 330 445 m<sup>2</sup>.

Sur cette même période, le total des surfaces en accrétion au sein du massif dunaire ne s'élève qu'à 315 958 m<sup>2</sup> (Tableau II.3).

	Recul du trait de côte					
	Nombre de Polygones			Surface en m <sup>2</sup>		
	falaise	dune	Total	falaise	dune	Total
<b>1952 - 2004</b>	<b>10</b>	<b>82</b>	<b>92</b>	<b>1 231</b>	<b>80 384</b>	<b>81 615</b>
<b>% par rapport au total</b>	<b>10.87%</b>	<b>89.13%</b>		<b>1.51%</b>	<b>98.49%</b>	<b>100.00%</b>
1952 - 1984	6	56	62	300455	1162	301617
% par rapport au total	9.68%	90.32%		99.61%	0.39%	
1984 - 1999	7	22	29	629	2606	3235
% par rapport au total	24.14%	75.86%		19.44%	80.56%	
1999 - 2000	30	158	188	168	12006	12174
% par rapport au total	15.96%	84.04%		1.38%	98.62%	
2000 - 2004	48	435	483	275	137583	137858
% par rapport au total	9.94%	90.06%		0.20%	99.80%	

a. Synthèse des mouvements affectant l'évolution du trait de côte par type de morphologie entre 1952 et 2004

	Erosion	accrétion	Bilan surfacique sédimentaire (m <sup>3</sup> )	% des surfaces en mouvement par rapport à la surface totale du massif dunaire	bilan surfacique sédimentaire annuel
1952 - 1984	330 455	315 959	-14 496	5.85%	-453
1984 - 1999	2 606	1 159 705	1 157 099	10.52%	77 140
1999 - 2000	12 006	1 338	-10 668	0.12%	-10 668
2000 - 2004	137 583	27 534	-110 049	1.49%	-27 512
<b>1952 - 2004</b>	<b>80 384</b>	<b>933 868</b>	<b>853 484</b>	<b>9.18%</b>	<b>16 413</b>

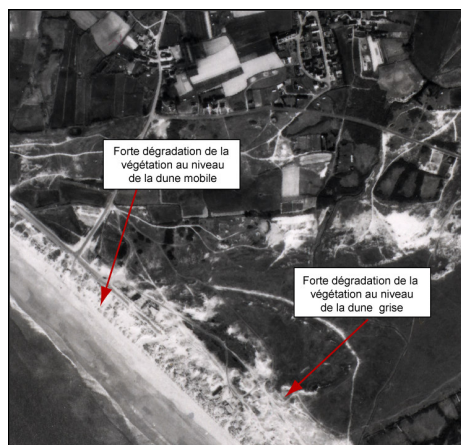
b. Synthèse des mouvements affectant l'évolution du front dunaire entre 1952 et 2004

*Tableau II.3: synthèse des évolutions caractérisant l'évolution du trait de côte au sein du massif dunaire Gâvres-Penthièvre entre 1952 et 2004.*

Ainsi, sur cette période, le massif dunaire enregistre un recul important du front de dune, soulignant l'importance des processus érosifs durant cette période. Toutefois, il est difficile d'affirmer si cette érosion du massif dunaire entre 1952 et 1984 résulte d'un déficit dans les apports sédimentaires ou simplement d'une forte dégradation anthropique des massifs dunaires, et surtout de leur végétation. En effet, de manière générale, sur les clichés aériens de 1984, les formations dunaires apparaissent très souvent dégradées (Figure II.12) et le recul de la limite sable/végétation ne peut pas nécessairement être toujours associé à un déficit sédimentaire. La concentration du piétinement peut également contribuer à dégrader la dune végétalisée (Boorman et Fuller, 1977).

#### 1984 – 1999:

Entre 1984 et 1999, les processus érosifs qui contrôlent le recul du trait de côte sont en partie résorbés, indiquant une reprise de la végétation, colonisant des surfaces d'accumulation et stabilisant des apports sédimentaires. Les polygones en accrétion représentent 68.13% des polygones étudiés au sein du massif dunaire, contre 31.87 % pour les polygones en érosion. Les polygones en érosion sont pour la plupart situés au niveau de la pointe de Gâvres, au Nord du massif dunaire et de la plage de la Falaise, à l'embouchure de la Ria d'Étel et plus au Sud, au niveau des plages de Kerouriec et de Kerhillio (Carte II.1c). Toutefois, dans l'ensemble, les processus d'accumulation prédominent largement au sein du massif dunaire durant cette période.



*Figure II.12: Extrait de la mosaïque 1985 représentant la forte dégradation du couvert végétal au niveau du massif dunaire (Commune Erdeven)*

Le bilan sédimentaire surfacique est largement excédentaire et atteint 1 157 099 m<sup>2</sup>, ce qui représente environ 10.52% de la surface totale du massif dunaire associant dune mobile et dune végétalisée (Tableau II.3).

En raison de la disponibilité des clichés, les analyses suivantes ont été menées sur des pas de temps beaucoup plus courts, entre 1999 et 2000, puis entre 2000 et 2004.

#### 1999 – 2000:

Entre 1999 et 2000, le bilan surfacique est déficitaire (Tableau II.3). De plus, la répartition des polygones en érosion au sein du massif dunaire est plus homogène que celle observée sur les pas de temps précédents (carte II.1d). En d'autres termes, le front de dune enregistre un net recul sur l'ensemble du secteur étudié. Toutefois, l'ensemble des mouvements ne correspond qu'à 0.12% de la surface totale du massif dunaire associant dune mobile et dune végétalisée. Ce pas de temps correspond à une durée nettement plus réduite que celle des pas de temps précédents et les mouvements de recul concernent une moins grande surface au sein du massif dunaire.

#### 2000 – 2004:

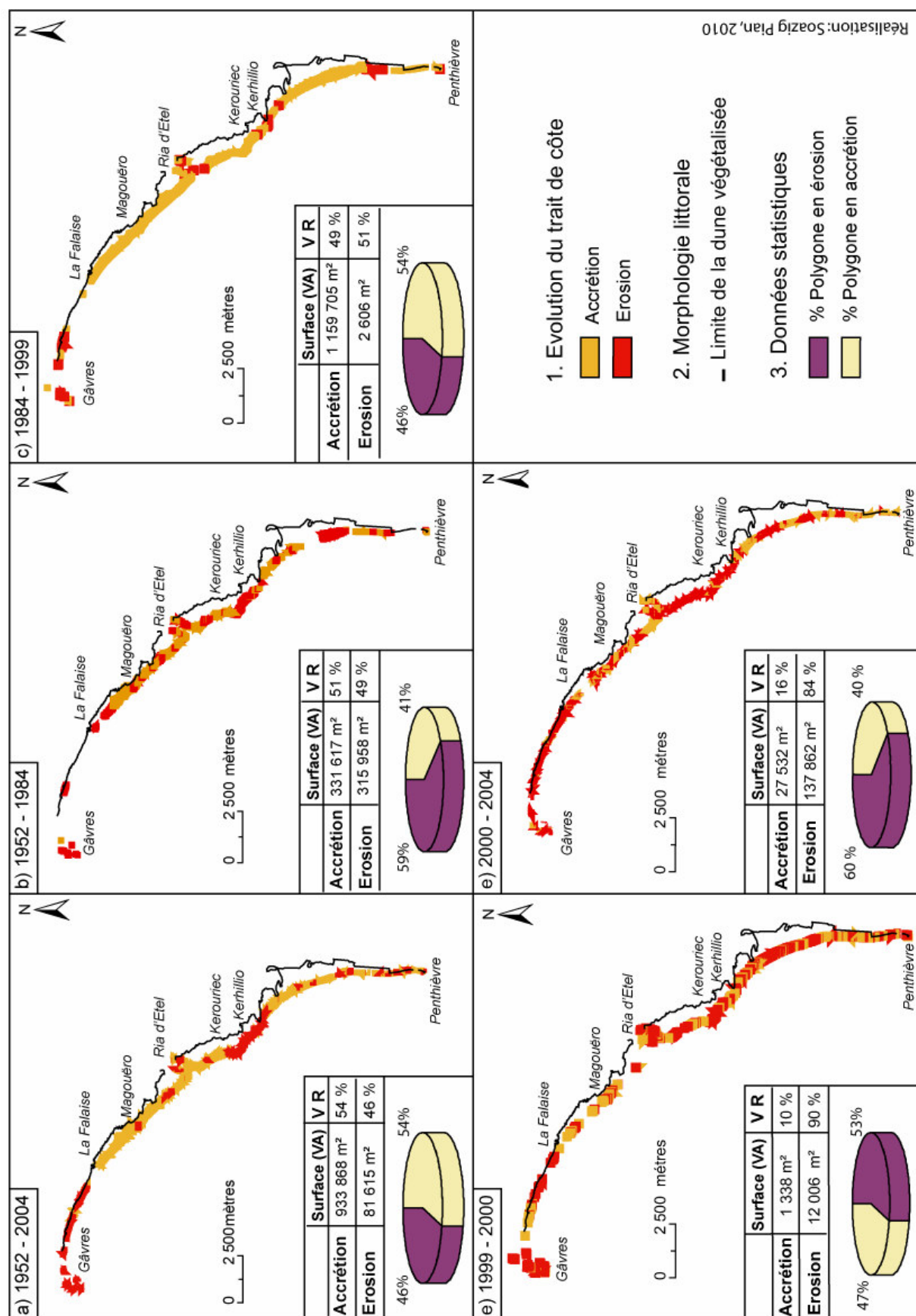
Entre 2000 et 2004, on retrouve le même type d'évolution : le bilan sédimentaire surfacique est déficitaire (Tableau II.3) et les processus d'érosion concernent l'ensemble du massif dunaire (carte II.1e).

Ainsi, à partir des années 2000, l'évolution du massif dunaire semble être dominée par l'importance des processus érosifs qui contrôlent le recul du front dunaire. Afin de compléter cette analyse, des bilans sédimentaires surfaciques annuels ont été calculés (Tableau II.3).



Ces derniers témoignent d'une accélération des processus érosifs à partir des années 2000. En effet, entre 2000 et 2004 l'évolution du massif dunaire est marquée par un déficit sédimentaire surfacique équivalent à  $-27512\text{m}^2/\text{an}$  alors qu'entre 1999 et 2000 le déficit du bilan sédimentaire surfacique ne s'élève qu'à  $-10668\text{m}^2/\text{an}$ , soit 2.5 fois moins.

D'une manière générale, ces résultats sont cohérents avec les données diffusées par l'IFEN (2007) qui montrent que le recul du trait de côte au sein du massif dunaire est concentré au Nord, sur la plage de Gâvres au cours des vingt dernières années. Toutefois, les différences de résolution spatiales et temporelles auxquels sont réalisés ces deux travaux rendent difficile une comparaison précise des résultats obtenus.



Carte II.1: Evolution du trait de côte entre 1952 et 2004 - Secteur: Massif dunaire Gâvres-Penthièvre.

## I.2. La baie de Quiberon

Cette seconde section est consacrée aux résultats obtenus pour la baie de Quiberon. Sur le temps long, les variations du trait de côte sont analysées sur un pas de temps d'environ cinquante ans (1952 – 2004). Sur le moyen terme, deux pas de temps intermédiaires sont analysés, entre 1952 et 1985, puis entre 1985 et 2004.

### I.2.1. Les grandes tendances marquant l'évolution du trait de côte (1952 - 2004)

La carte II.2a présente les principaux résultats obtenus entre 1952 et 2004. Dans l'ensemble, les massifs dunaires situés au centre de la baie enregistrent une progression du front dunaire sur plus de 310 048 m<sup>2</sup> (+ 5 000m<sup>2</sup>/an), ce qui représente plus de 93% des surfaces en accrétion sur cette période (Tableau II.4). Toutefois, la progradation des massifs dunaires est interrompue localement par la présence de brèches, témoignant d'un recul du trait de côte dans ces secteurs. Les surfaces érodées au sein des massifs dunaires s'élèvent à 15 412 m<sup>2</sup> (296 m<sup>2</sup>/an) et leur répartition semble plus dense au Sud-Est de l'isthme de Penthievre, au Sud-Est de la passe de Port Navalo, au niveau du Nord de la plage de Kervest et de la plage des Govelins. Toutefois, des poches d'érosion sont également présentes sur tout le pourtour de la baie, comme sur la côte Est au niveau des plages de Port Orange. La flèche de Pen Er Lè, qui barre l'entrée de la baie de Plouharnel, a tendance à migrer vers le Sud comme en témoigne le recul du front dunaire au Nord, et l'engraissement au Sud.

Par ailleurs, les petites falaises, élaborées dans des matériaux altérés, reculent sur l'ensemble de la période avec des vitesses proches de 0.03m/an en moyenne, soit un recul moyen d'environ 1.56m sur l'ensemble de la période. Elles représentent plus de 50% des processus d'érosion, aussi bien en terme de pourcentage de polygone que de surface (Tableau II.4).

Enfin, dans les secteurs plus abrités, comme dans l'anse de Plouharnel ou à l'Est de la ria de Saint Philibert, les surfaces occupées par les schorres ont reculé: les surfaces érodées dans ces secteurs atteignent 7 033 m<sup>2</sup> alors que les surfaces en accrétion sont proches de 487 m<sup>2</sup> (carte II.2a).

### I.2.2. L'évolution sur les pas de temps intermédiaires

Les tendances observées sur la période 1952-2004 sont loin d'être régulières comme en témoignent les évolutions marquant la mobilité du trait de côte sur des pas de temps plus courts.

1952 – 1985:

Sur la période 1952 – 1985, le total des surfaces érodées au sein des massifs dunaires représente environ 91% des surfaces en érosion et s'élève à plus de 104 907m<sup>2</sup> (+ 2 000m<sup>2</sup>/an )(Tableau II.4).

Recul du trait de côte					
1952 - 2004					
	Nb de polygones	surface en m <sup>2</sup>	% polygone	% m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> /an
Dune	58.00	15 412.15	27.36%	33.60%	296.39
Falaise	127.00	23 419.14 (1)	59.91%	51.06%	450.36 (4)
Schorre	27.00	7 033.94	12.74%	15.34%	135.27
1952 - 1985					
	Nb de polygones	surface en m <sup>2</sup>	% polygone	% m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> /an
Dune	63.00	104 907.65	53.39%	91.44%	2 017.45
Falaise	45.00	8 738.78 (2)	38.14%	7.62%	168.05 (5)
Schorre	10.00	1 085.00	8.47%	0.95%	20.87
1985 - 2004					
	Nb de polygones	surface en m <sup>2</sup>	% polygone	% m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> /an
Dune	30.00	1 572.96	16.67%	8.15%	30.25
Falaise	124.00	13 983.73 (3)	68.89%	72.42%	268.91 (6)
Schorre	26.00	3 753.69	14.44%	19.44%	72.19

Avancée du trait de côte					
1952 - 2004					
	Nb de polygones	surface en m <sup>2</sup>	% polygone	% m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> /an
Dune	147.00	310 048.59	74.62%	93.87%	5 962.47
Veg continentale	42.00	19 756.71	21.32%	5.98%	379.94
Schorre	8.00	487.25	4.06%	0.15%	9.37
1952 - 1985					
	Nb de polygones	surface en m <sup>2</sup>	% polygone	% m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> /an
Dune	62.00	72 290.42	73.81%	89.78%	1 390.20
Veg continentale	21.00	8 201.32	25.00%	10.19%	157.72
Schorre	1.00	30.00	1.19%	0.04%	0.58
1985 - 2004					
	Nb de polygones	surface en m <sup>2</sup>	% polygone	% m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> /an
Dune	125.00	235 514.56	77.16%	97.91%	4 529.13
Veg continentale	33.00	4 995.24	20.37%	2.08%	96.06
Schorre	4.00	24.57	2.47%	0.01%	0.47

(1) 1.56 m en moyenne sur la période      (2) 2.52 m en moyenne sur la période      (3) 1.18 m en moyenne sur la période  
 (4) 0.03m/an      (5) 0.07m/an      (6) 0.05m/an

Tableau II.4: synthèse des évolutions caractérisant l'évolution du trait de côte au sein de la baie de Quiberon entre 1952 et 2004.

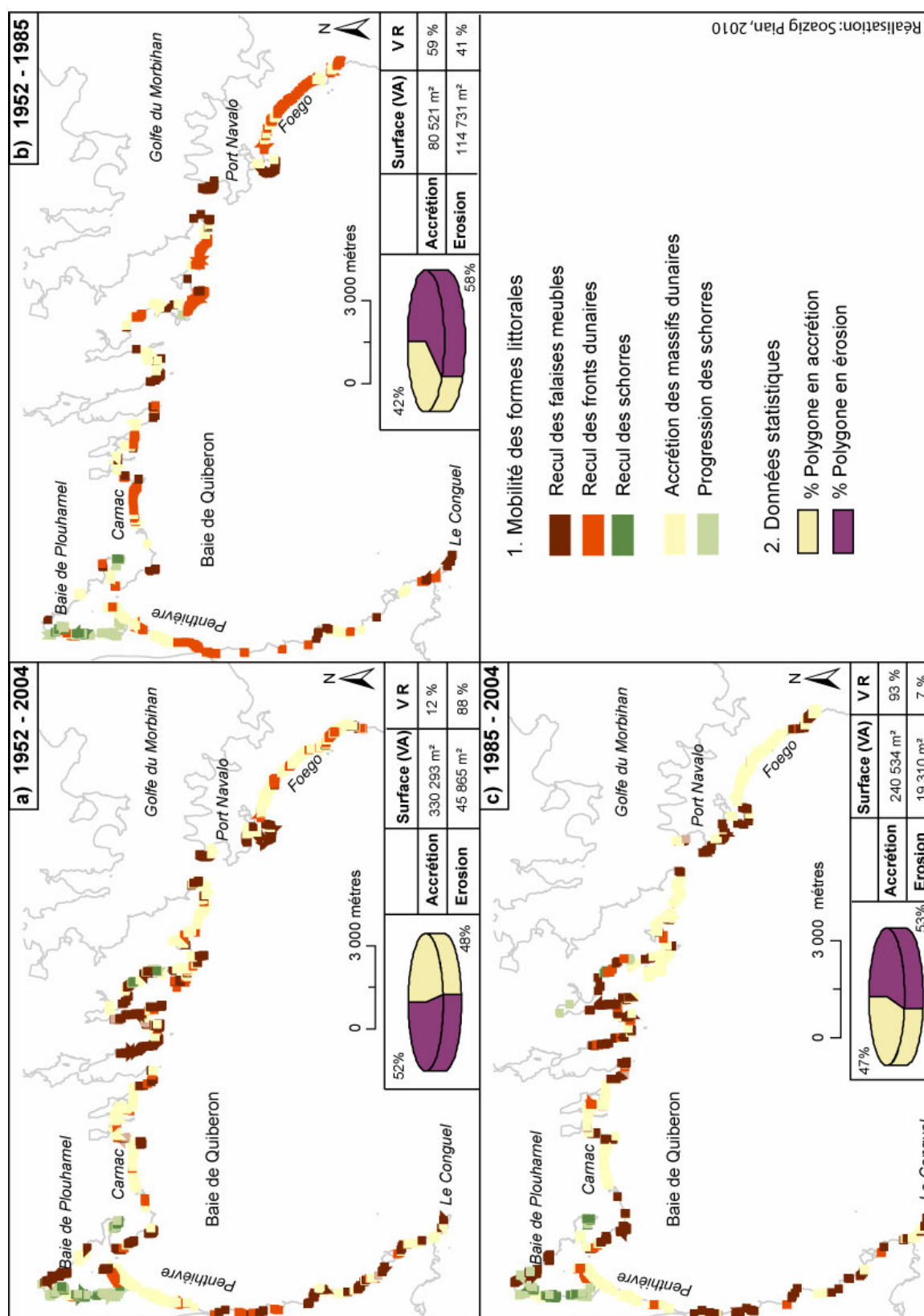
Le recul du front dunaire est particulièrement marqué au Sud-Est de la passe de Port Navalo sur les plages du Foëgo, de Kervest et des Govelins, mais également au centre de la baie, dans le secteur des plages de Carnac par exemple (Carte II.2b). Sur ce pas de temps, les vitesses de recul des petites falaises meubles atteignent des valeurs plus importantes, proches de 0.07m/an, soit un recul moyen total sur la période de 2.52 m. En outre, dans les espaces plus abrités, les conditions hydrodynamiques permettent la progression des schorres sur l'estran sur plus de 8 201 m<sup>2</sup> (Tableau II.4).

1985 – 2004:

La période suivante (1985-2004) est marquée par une diminution des processus érosifs au sein du massif dunaire et une diminution des vitesses de recul des falaises qui approchent 0.06m/an. Le bilan sédimentaire surfacique au sein des dunes est excédentaire: les surfaces érodées ne représentent plus que 1 572 m<sup>2</sup> entre 1985 et 2004 alors que les surfaces en accrétion atteignent environ 235 514 m<sup>2</sup> (Tableau II.4).

Les plages du centre et de l'Est de la baie, qui avaient enregistré un recul sévère du front dunaire sur la période précédente, sont particulièrement concernées par ce phénomène. A l'inverse, le développement des schorres dans les espaces abrités est nettement ralenti. La flèche de Pen er lè tend à migrer vers le Sud-Est comme en témoignent le recul du front dunaire, au Nord de la flèche, et sa progression vers le Sud (carte II.2c).

Le tableau II.2 synthétise l'évolution du trait de côte, pour chaque type de forme concerné et chacun des pas de temps étudiés. Il en ressort que les périodes 1952-2004 et 1985-2004 sont marquées par une prédominance des processus d'accumulation sédimentaire se traduisant, d'une part, par la progradation des fronts dunaires en bordure des plages ou de schorres dans les espaces plus abrités, par un recul rapide des falaises meubles, d'autre part. La période 1952-1985 est quant à elle caractérisée par une érosion accrue des massifs dunaires, notamment au Sud-Est et au centre de la baie.



Carte II.2: Evolution du trait de côte au sein de la baie de Quiberon entre 1952 et 2004

### **I.3. Les plages de la presqu'île de Rhuys**

Cette troisième section s'intéresse aux variations du trait de côte des plages de la Presqu'île de Rhuys, situées à l'Est du Grand Mont. Il s'agit des plages comprises entre la plage Saint Jacques à l'Ouest et la plage de Penvins à l'Est. Sur le temps, les tendances marquant l'évolution du trait de côte sont cartographiées entre 1952 et 2004. Sur le moyen terme, trois pas de temps intermédiaires sont analysés : 1952 – 1985, 1985 – 1999 et 1999-2004.

#### **I.3.1. Les grandes tendances marquant l'évolution du trait de côte**

Entre 1952 et 2004, la dynamique du trait de côte est dominée par des processus d'accumulation sédimentaire qui favorisent la progradation des massifs dunaires. Les surfaces en accrétion au sein des massifs dunaires représentent environ 15 814 m<sup>2</sup> (304 m<sup>2</sup>/an). Les surfaces en érosion, quant à elles, ne représentent que 10 478 m<sup>2</sup> (201 m<sup>2</sup>/an) et concernent principalement le massif dunaire. En effet, le recul des petites falaises meubles constituant les pointements rocheux de Beg Lann ou de Penvins représente moins de 1.6% du total des surfaces en érosion (Tableau II.5).

A l'Ouest de la presqu'île, les plages enregistrent une progression du front dunaire. A l'Est de la pointe Saint Jacques, l'évolution du front dunaire est marquée par une alternance spatiale de poches d'érosion et d'accrétion. A l'Est de ce secteur, la plage des Grèves de Suscinio est fortement marquée par le recul du front de dune. A l'Est de la pointe de Beg Lann, l'anse de Suscinio est également caractérisée par l'occurrence de processus érosifs, excepté au centre de la baie, au niveau de la plage de Suscinio et, plus à l'Est, des plages de Landrézac et de Penvins (Carte II.3a).

#### **I.3.2. L'évolution sur les pas de temps intermédiaires**

Les mouvements du trait de côte décrits entre 1952 et 2004 ne traduisent pas une évolution régulière dans le temps. L'analyse des variations du trait de côte sur les pas de temps intermédiaires témoigne en effet d'une forte variabilité spatio-temporelle.

##### **1952 – 1985:**

Sur la période 1952 – 1985, les processus d'érosion sont largement majoritaires au sein du système dune-plage. Ils représentent plus de 97% du total des surfaces en mouvement (Tableau II.5) et affectent l'ensemble du massif dunaire. Quelques poches d'accrétion sont toutefois visibles, notamment au Sud-Est de la plage de Saint Jacques ou à l'Est de la pointe Saint Jacques, sur les plages de Kerfontaine ou du Rohaliguen.

Recul du trait de côte					
1952 - 2004					
	Nb de polygones	surface en m <sup>2</sup>	% polygone	% m	m <sup>2</sup> /an
Dune	48	10 478	88.89%	98.34%	201.5
Falaise	6	177	11.11%	1.66%	3.4
1952 - 1985					
	Nb de polygones	surface en m <sup>2</sup>	% polygone	% m	m <sup>2</sup> /an
Dune	26	131 598	76.47%	97.07%	3 987.8
Falaise	8	3 966	23.53%	2.93%	120.2
1985 - 1999					
	Nb de polygones	surface en m <sup>2</sup>	% polygone	% m	m <sup>2</sup> /an
Dune	23.00	602.00	74.19%	71.41%	43.0
Falaise	8.00	241.00	25.81%	28.59%	17.2
1999 - 2004					
	Nb de polygones	surface en m <sup>2</sup>	% polygone	% m	m <sup>2</sup> /an
Dune	161	15436	93.06%	99.20%	3 087.2
Falaise	11	111	6.36%	0.71%	22.2
Veg continentale	1	14	0.58%	0.09%	2.8
Avancée du trait de côte					
1952 - 2004					
	Nb de polygones	surface en m <sup>2</sup>	% polygone	% m	m <sup>2</sup> /an
Dune	45.00	15 814.00	95.74%	99.57%	304.1
Veg continentale	2.00	69.00	2.82%	0.01%	1.3
1952 - 1985					
	Nb de polygones	surface en m <sup>2</sup>	% polygone	% m	m <sup>2</sup> /an
Dune	6	617	85.71%	97.94%	18.7
Veg continentale	1	13	14.29%	2.06%	0.4
1985 - 1999					
	Nb de polygones	surface en m <sup>2</sup>	% polygone	% m	m <sup>2</sup> /an
Dune	48	163 727	92.31%	99.93%	11 694.8
Veg continentale	4	108	7.69%	0.07%	7.7
1999 - 2004					
	Nb de polygones	surface en m <sup>2</sup>	% polygone	% m	m <sup>2</sup> /an
Dune	35	812	92.11%	95.31%	162.4
Veg continentale	3	40	7.89%	4.69%	8.0

Tableau II.5 : Synthèse des évolutions du trait de côte dans la presqu'île de Rhuy entre 1952 et 2004.

Ensuite, plus à l'Est, des plages des Grèves de Susicinio jusqu'à la pointe de Penvins, l'évolution du trait de côte témoigne d'un recul du front dunaire tout le long du littoral étudié (Carte II.3b).

#### 1985 – 1999:

A l'inverse, la période 1985 – 1999 est marquée par une forte progradation du massif dunaire, résorbant dans certains secteurs le recul du trait de côte enregistré sur la période précédente. Le total des surfaces concernées par ces processus d'accumulation sédimentaire s'élève à plus de 163 727 m<sup>2</sup> (+ 11 000m<sup>2</sup>/an) et représente 99% des mouvements mesurés pour ce pas de temps (Tableau II.5). Ainsi, les plages situées à l'Ouest de la pointe Saint Jacques sont caractérisées par une progression du front dunaire, malgré la présence de poches d'érosion. Entre la pointe de Saint Jacques et la plage des Grèves de Susicinio, l'évolution du trait de côte est marquée par une alternance de poches d'érosion et d'accrétion, semblable à celle observée sur la période 1952 – 2004.



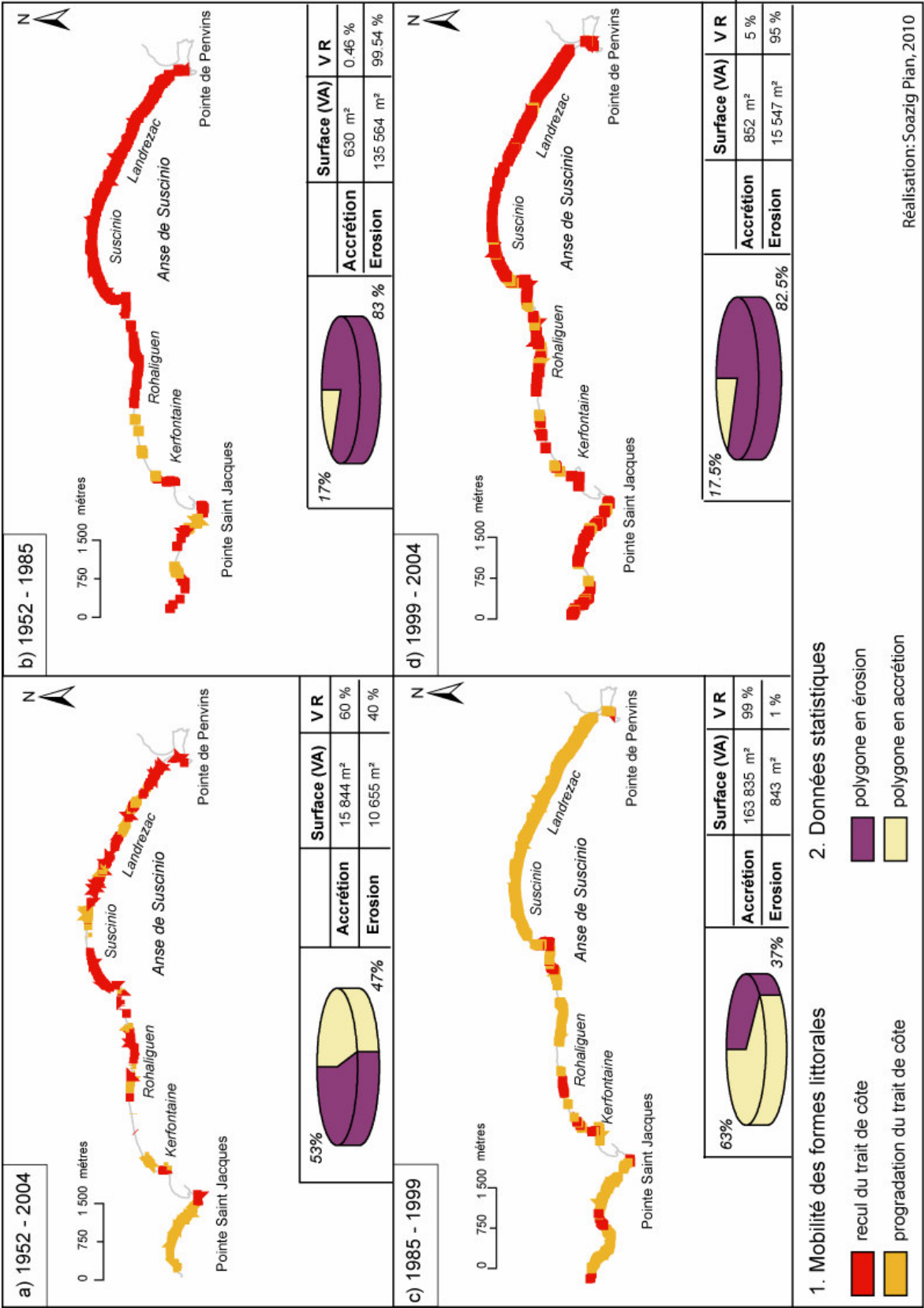
Puis, au Sud-Est de la pointe de Beg Lann, caractérisée par le recul des falaises altérées, l'évolution du front de dune est marquée par une avancée du front dunaire, toutefois insuffisante pour résorber totalement l'importance du recul mesuré sur la période précédente (Carte II.3c).

#### 1999 – 2004:

Entre 1999 et 2004, les processus érosifs prédominent à nouveau. Ils concernent principalement les formations dunaires où le total des surfaces érodées s'élève à 15 436 m<sup>2</sup>. Sur ce pas de temps, le recul du sommet des falaises meubles concerne moins de 1% des surfaces totales érodées. Les surfaces en accrétion ne représentent que 5% du total des surfaces cartographiées, soit environ 812 m<sup>2</sup>. Ces surfaces ne représentent que 17.5% des sites étudiés sur ce pas de temps. Ces sites sont principalement localisés au Sud-Est de la plage Saint Jacques ainsi qu'à l'Ouest et au centre de la baie de Susicinio. Les plages de Beg Lann et des Grèves de Susicinio sont caractérisées par une alternance spatiale de poches d'érosion et d'accrétion (Carte II.3d).

L'évolution du trait de côte apparaît ainsi être dominée par des rythmes très contrastés, marqués par une alternance de périodes où domine le recul du front dunaire avec des périodes de reconstruction, ou *dune recovery*. Contrairement au secteur de Gâvres – Penthievre, la localisation des sites marqués par un recul ou une progradation du front dunaire n'est pas identique sur chacun des pas de temps étudiés, et enregistre une forte variabilité spatiale.

Par ailleurs, avant d'approfondir plus en détails l'analyse des facteurs contrôlant les évolutions du trait de côte, il convient de souligner que, tout comme pour le secteur Gâvres – Penthievre, l'importance du recul du front dunaire sur la période 1952 – 1985 pourrait résulter autant d'une forte dégradation de la couverture végétale du massif dunaire que d'un véritable déficit sédimentaire. Enfin, l'importance du recul du front dunaire dans la partie orientale du système côtier est cohérente avec les données diffusées par l'IFEN (2007) et discutées en introduction.



Carte II.3: Evolution du trait de côte de la Presqu'île de Rhuy entre 1952 et 2004

#### I.4. Les falaises de la façade Ouest de la presqu'île de Quiberon

Cette quatrième section s'intéresse aux résultats concernant l'évolution du trait de côte de la façade Ouest de la presqu'île de Quiberon entre 1952 et 2004 (carte II.4).

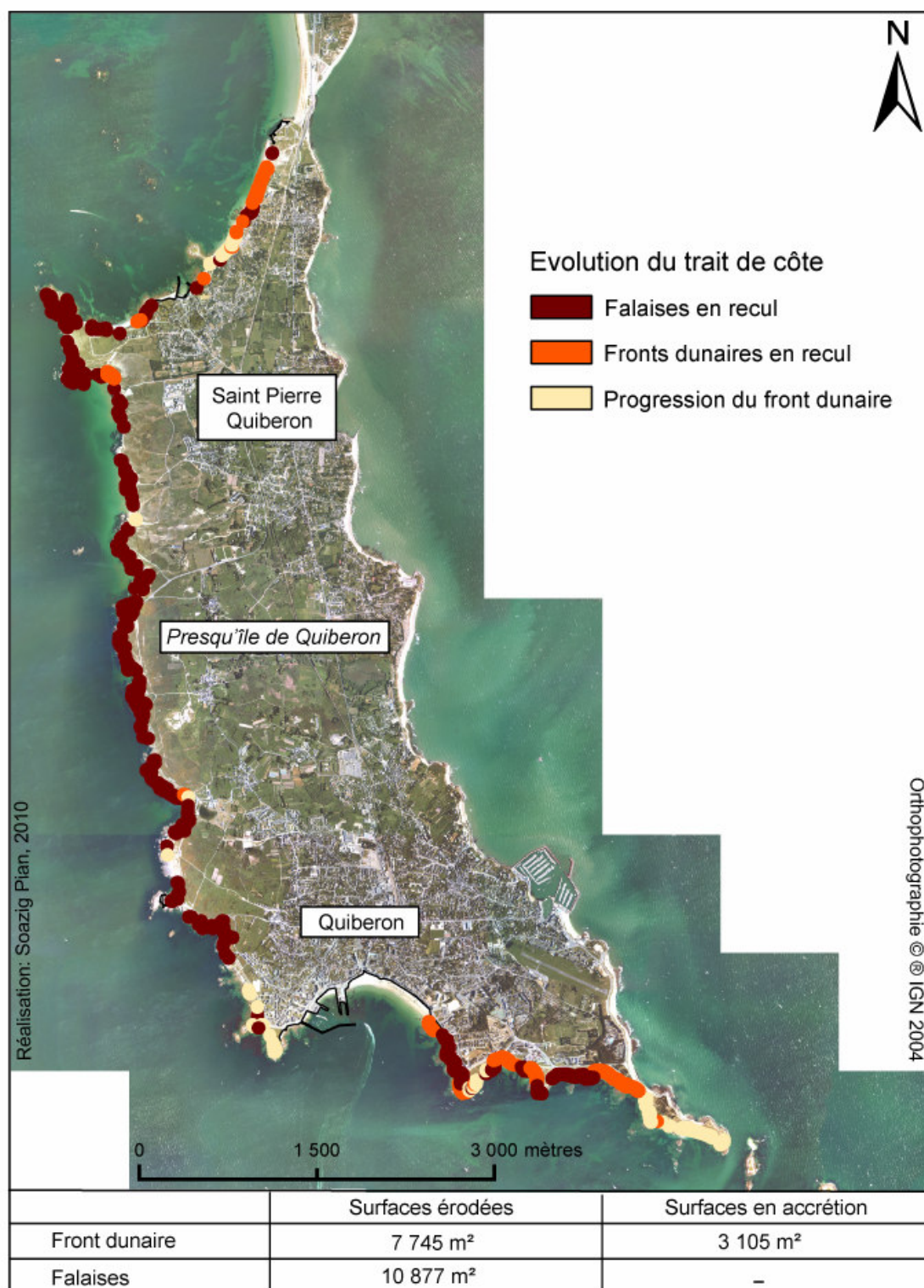
Principalement constituée d'un système de falaises, cette presqu'île est soumise à d'importants processus d'érosion. Ces derniers représentent au total plus de 18 622 m<sup>2</sup> pour un linéaire côtier long de plus de 25 km<sup>8</sup>. L'ensemble des falaises recule sur la période étudiée, alors que les fronts dunaires développés en haut de plages, dans les criques, sont caractérisés soit par une avancée, soit par un recul du trait de côte. Ainsi, 11% des surfaces en érosion sont situées sur les massifs dunaires bordant des criques, ce qui représente plus de 7 745 m<sup>2</sup>. Les surfaces en accrétion, au sein de ces massifs dunaires, n'excèdent pas 3 105 m<sup>2</sup>.

La valeur moyenne du recul obtenu pour les falaises de la Presqu'île de Quiberon s'élève à 1.75 m, entre 1952 et 2004, pour un écart type proche de 1.51.

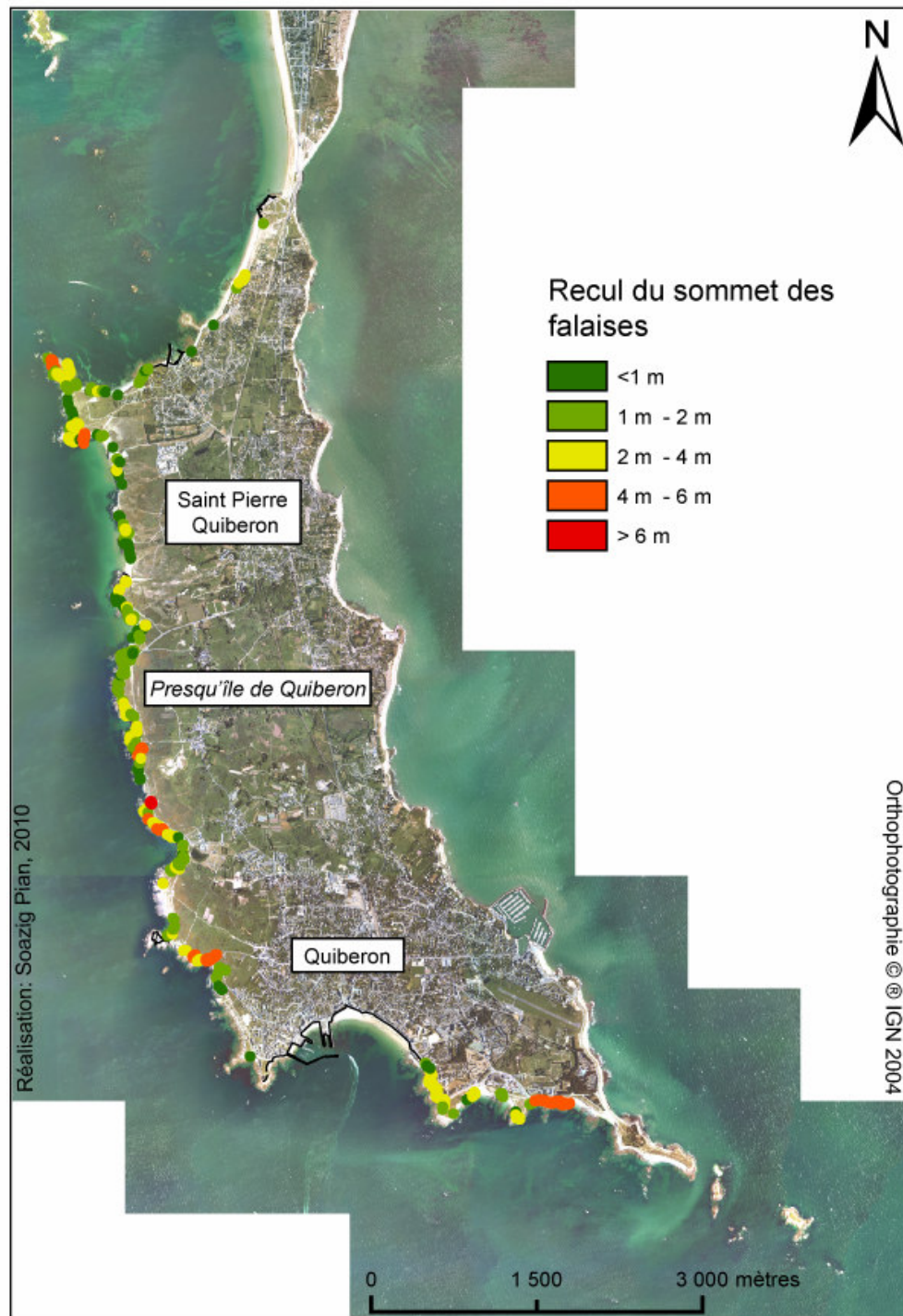
Les valeurs de recul les plus fortes se situent sur la pointe Sud de la presqu'île, caractérisée par des formations basses et altérées, ainsi que sur les portions du linéaire côtier exposées aux houles du Nord-Ouest. Les valeurs les plus faibles se situent principalement au niveau des falaises rocheuses formées à partir de matériaux granitiques et métamorphiques (*Sellier, 2009*) (carte II.5).

---

<sup>8</sup> Longueur du linéaire côtier obtenu à partir de la numérisation du trait de côte géomorphologique



Carte II.4: Evolution du trait de côte de la façade Ouest de la presqu'île de Quiberon entre 1952 et 2004



Carte II.5: Recul des falaises de la façade Ouest de la presqu'île de Quiberon entre 1952 et 2004

### I.5. Le Golfe du Morbihan

Cette cinquième section s'intéresse à l'évolution des formes littorales dans le Golfe du Morbihan. L'analyse s'est essentiellement intéressée à ces deux types d'entités morphologiques: le sommet des falaises meubles (Type 2 et Type 3 – Chapitre 1) et des micros falaises (Type 1 – Chapitre 1), et les surfaces couvertes par les schorres.



Le tableau II.6 synthétise les principaux résultats obtenus, entre 1952 et 2004. Les surfaces en accrétion font référence aux surfaces couvertes par des schorres, dont la transition vers les espaces dominés par la végétation terrestre est relativement floue, souvent marquée par des infrastructures anthropiques, type muret, et parfois par un talus de faible amplitude. Ces surfaces progressent sur plus de 30 183 m<sup>2</sup> entre 1952 et 2004. Ailleurs, les surfaces en érosion correspondent au recul des falaises et petites falaises. Le total des surfaces érodées au sein des falaises s'élève sur la période d'étude à environ 43892 m<sup>2</sup>. Toutefois, il convient de préciser que ces chiffres sous-estiment certainement l'ampleur de l'érosion puisque sur l'ensemble du linéaire côtier étudié hors marge d'erreur, plus de 19456 m<sup>2</sup> représentent des falaises colonisées par une végétation, souvent de type arboré masquant l'évolution du sommet de la falaise.

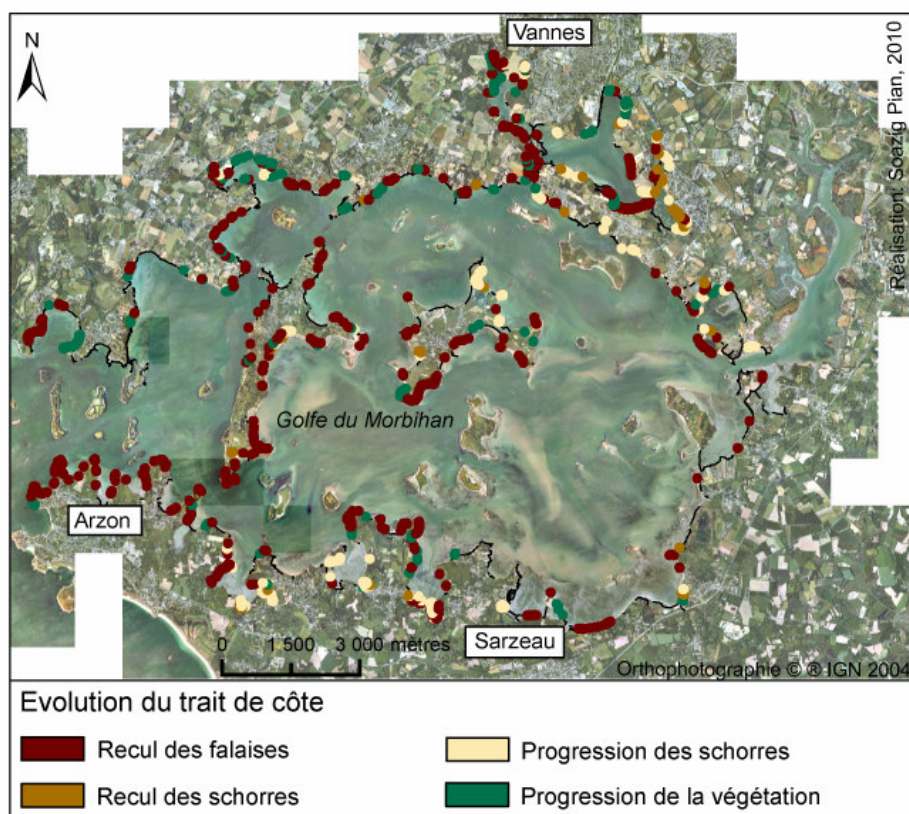
	Recul du trait de côte			
	Nb de polygones	Surface en m <sup>2</sup>	% polygone	% Surface en m <sup>2</sup>
Falaise	389	43892	12.58%	26.86%
Schorre	56	16115	12.58%	26.86%
	Avancée du trait de côte			
	Nb de polygones	Surface en m <sup>2</sup>	% polygone	% Surface en m <sup>2</sup>
Schorre	102	30183	41.98%	60.81%
Vég continentale	141	19456	58.02%	39.19%

Tableau II.6: synthèse des évolutions caractérisant l'évolution du trait de côte dans le Golfe du Morbihan

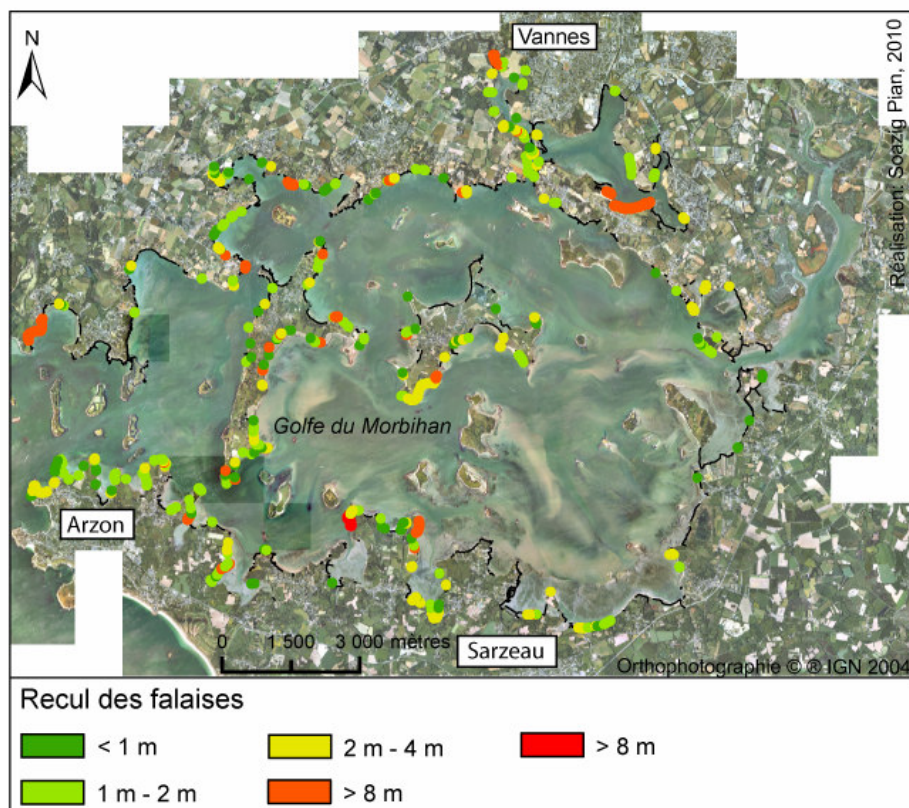
La répartition spatiale des surfaces correspondant à un recul du sommet des falaises est relativement homogène sur tout le pourtour du Golfe. Seul le Sud-Est du Golfe, fortement anthropisé et occupé par des formations basses, type marais maritime, est moins concerné par ce phénomène (carte II.6). A l'inverse, les secteurs concernés par la progression des schorres ont une répartition spatiale nettement moins ubiquiste. Ils se situent essentiellement à l'Est de l'île aux Moines, où les conditions hydrodynamiques plus faibles permettent le développement de marais maritimes et de vasières.

La carte II.7 s'intéresse au recul des falaises bordant le Golfe du Morbihan. Les valeurs de recul, sur un plan horizontal, pour chaque polygone, ont été obtenues à partir de la même méthode que celle développée pour la Presqu'île rocheuse de Quiberon. Le recul moyen obtenu par cette méthode est de 1.68m entre 1952 et 2004. La valeur médiane de la série s'élève à 1.26m et l'écart type est de 1.7. Les trois premières classes de recul, qui correspondent à des valeurs de recul comprises entre 0 et 4m, regroupent plus de 91% de l'ensemble des données.

La répartition spatiale de ces différentes valeurs de recul est relativement homogène sur l'ensemble du pourtour du Golfe, à l'exception d'un secteur Sud-Est où les valeurs les plus fortes de recul ne sont pas représentées. Dans ce secteur, la hauteur des falaises est moins importante et dépasse rarement 1m.



Carte II.6: Evolution du trait de côte du Golfe du Morbihan entre 1952 et 2004



Carte II.7: Cartographie du recul des falaises du Golfe du Morbihan entre 1952 et 2004

### Synthèse générale

L'analyse des variations enregistrées par la ligne de rivage sur plus de 50 ans, a permis, pour chacun de ces systèmes littoraux, d'identifier les grandes tendances caractérisant la répartition spatiale des secteurs soumis à des processus érosifs ou d'accumulation sédimentaire.

L'évolution du trait de côte, au sein de chaque secteur étudié, semble partager certaines grandes caractéristiques, qui se retrouvent de manière systématique le long du littoral Sud Breton. Ainsi, les trois systèmes littoraux pour lesquels l'analyse des variations de la position de la ligne de rivage a été effectuée sur différents pas de temps affichent tous une forte variabilité spatio-temporelle. Sur le temps long, entre 1952 et 2004, le bilan sédimentaire surfacique est équilibré ou excédentaire.

Sur des pas de temps plus courts, l'évolution du trait de côte est marquée par des rythmes très contrastés où se succèdent des phases où prédominent alternativement processus érosifs et processus d'accumulation. De manière générale, pour l'ensemble des systèmes littoraux étudiés, les périodes 1952 – 1984 ou 1985 et 1999 – 2004 sont marquées par une forte importance des processus érosifs, concernant majoritairement les massifs dunaires. A l'inverse, la période 1985 – 1999 est dominée par des processus d'accumulation sédimentaire. La comparaison des évolutions enregistrées sur les pas de temps intermédiaires doit être nuancée du fait que chaque intervalle de temps ne correspond pas à la même durée.

Toutefois, d'une manière générale, l'évolution des systèmes côtiers est marquée par une forte variabilité spatio-temporelle : l'importance relative et la localisation des processus conduisant au recul et à l'avancée du trait de côte varient, au sein d'un même système, selon les pas de temps.



## II. INTERPRETATION DES RESULTATS DES ANALYSES SPATIALES ET ANALYSE DES RELATIONS ENTRE LES DIFFERENTES CONTRAINTES CONTROLANT L'EVOLUTION DU TRAIT DE COTE

Cette seconde section a pour objectif de présenter l'ensemble des résultats obtenus à partir des différents traitements réalisés sur les données spatiales. Elle est divisée en deux sections : la première section permet une présentation détaillée des contraintes naturelles intégrées dans la base de données relative à la mobilité du trait de côte en Bretagne Sud. La seconde section s'intéresse aux résultats des analyses spatiales et se propose de discuter des relations spatiales existant entre la localisation des différentes contraintes étudiées et la localisation des mouvements des formes littorales.

### II.1. Identification et localisation des « contraintes naturelles » intégrées dans la base de données relative à la mobilité du trait de côte

Les traitements présentés au sein du chapitre 4 et décrits par la figure II.8 ont permis de caractériser les différentes contraintes naturelles associées, au sein des tables attributaires, aux mouvements contrôlant les variations du trait de côte. Cette section se propose de présenter chacune de ces contraintes, pour les systèmes dunes-plages, puis pour les systèmes de falaises.

#### II.1.1. Identification et localisation des « contraintes naturelles » associées aux mouvements du trait de côte au sein des systèmes dunes-plages

Au sein des systèmes dunes-plages, l'identification des contraintes naturelles contrôlant l'évolution du trait de côte s'est opérée en deux étapes. La première étape a consisté à identifier les schémas de circulation sédimentaire dominants à l'échelle des secteurs étudiés à partir d'une combinaison de données concernant la climatologie des houles, les contraintes sédimentaires, morphologiques et bathymétriques des systèmes côtiers. La seconde étape a ensuite permis de définir différents types de sites au sein des cellules sédimentaires (site source- site de transport –site puits) en fonction de ces schémas de circulation sédimentaire et des discontinuités géomorphologiques susceptibles de les modifier.

##### **II.1.1.a. Identification des schémas de circulation sédimentaire parallèle à la côte**

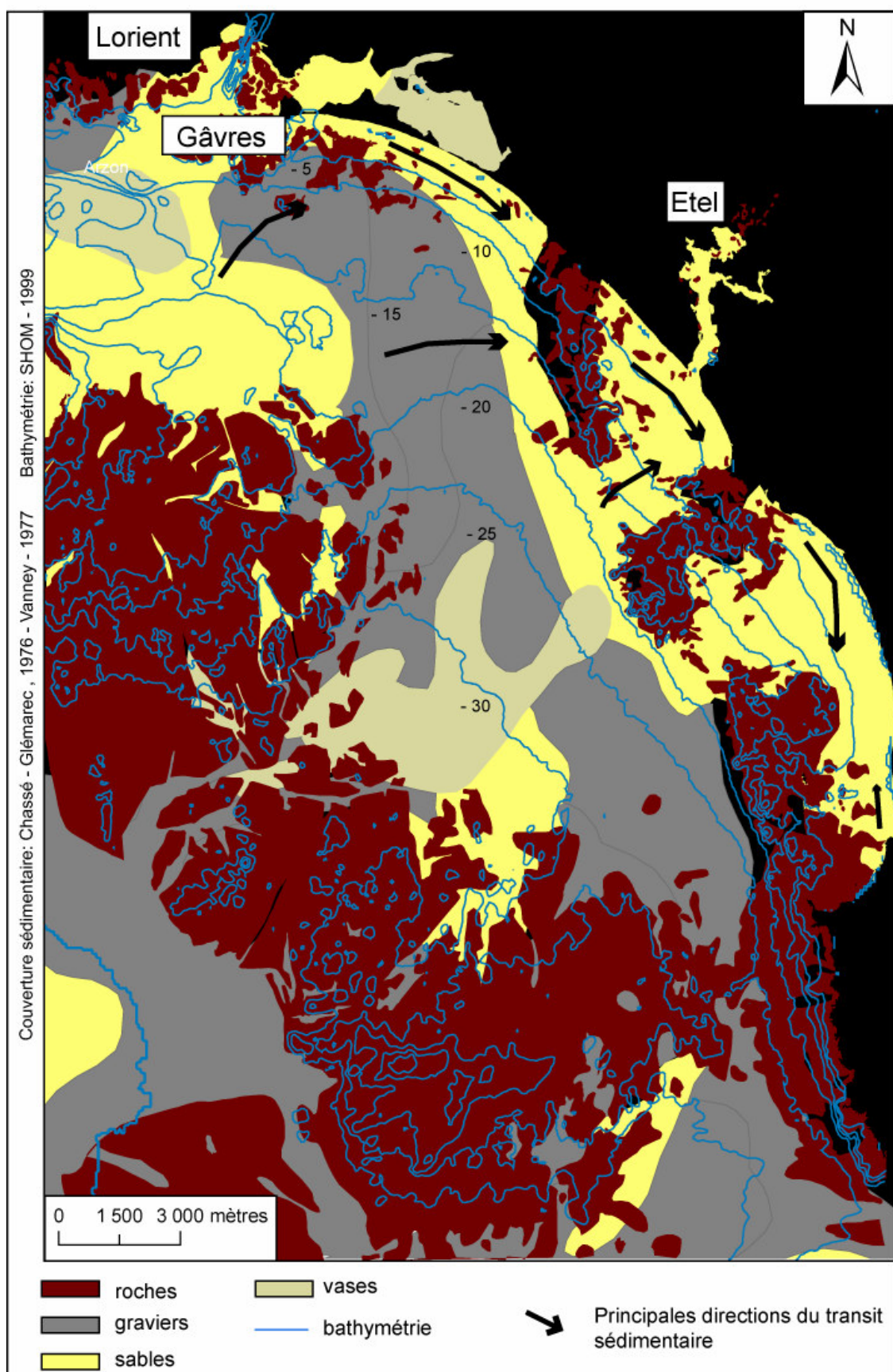
Les cartes suivantes synthétisent les résultats obtenus pour chaque système littoral, à partir de la méthode détaillée au sein du chapitre 4 (II).

Secteur Gâvres – Penthievre (Carte II.8):

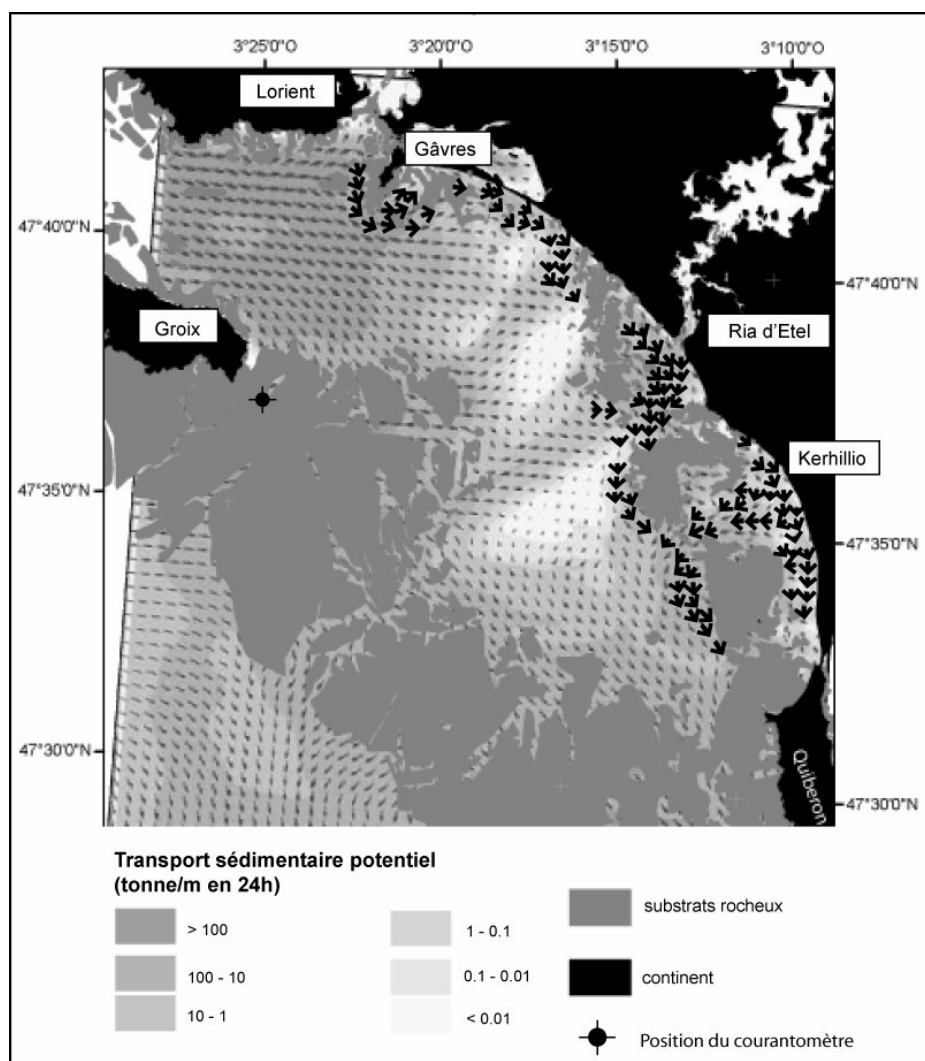
Pour le secteur Gâvres – Penthievre, la superposition spatiale des données hydrodynamiques, bathymétriques et morphologiques a mis en évidence l'existence d'un transit sédimentaire globalement orienté vers le Sud-Est.

Le trait de côte, dans son ensemble, est orienté Sud-Ouest et les isobathes, à partir de – 30 m de profondeur, sont disposées parallèlement au trait de côte. Deux secteurs sont orientés face au Sud, la plage de Gâvres au Nord et la plage de Kerouriec au Sud de la Ria d'Etel. Cette configuration favorise la mise en place d'une dérive littorale orientée vers le Sud-Est, générée par la réfraction des houles d'Ouest et de Nord-Ouest à proximité des côtes. L'analyse de la répartition de la couverture sédimentaire confirme cette hypothèse: au Nord, au niveau de la plage de Gâvres, les fonds ne sont recouverts de sables que jusqu'à des profondeurs comprises entre 10 et 15 m alors qu'à mesure que l'on progresse vers le Sud la présence de plaquages sableux sur les fonds s'étend jusqu'à une profondeur proche de – 25m. De même, les analyses des variations du trait de côte entre 1952 et 2004 ont mis en évidence un important recul du trait de côte sur les falaises et le Nord de la plage de Gâvres (carte II.1). Au Sud de la plage de Penthievre, la dérive est inversée: elle est orientée vers le Nord. De plus, l'analyse des données morphologiques a permis de mettre en évidence l'existence de nombreuses zones de roches susceptibles de modifier localement les processus de réfraction de houle et créer des discontinuités dans ce schéma de transports sédimentaires.

Ces schémas de transports sédimentaires sont cohérents avec les données issues de la bibliographie qui mettent en évidence l'existence d'une dérive littorale, orientée Sud-Est (*Bos et Quélenec, 1988, Migniot, 1989*). Par ailleurs, les données issues du modèle Mars S4 confirment les résultats de cette analyse. Elles montrent que pour des conditions d'agitation moyenne, dominées par des vents d'Ouest, caractérisés par une vitesse modérée de l'ordre de 5m/s, les courants de houle sont globalement orientés vers le Sud-Est. Ils génèrent un transit sédimentaire orienté vers le Sud-Est, excepté dans le secteur de Kerhillio où un transit sédimentaire *crossshore* se met en place. Par ailleurs, une dérive littorale orientée vers le Nord du massif dunaire Gâvres-Penthievre, se met en place vers Penthievre (Carte II.9).



Carte II.8: Cartographie des schémas de circulations sédimentaires entre Gâvres et Penthièvre pour des houles de secteur Ouest.



Carte II.9: Cartographie des résultats obtenus par la modélisation hydrosédimentaire au large du massif dunaire Gâvres - Penthièvre (modèle MARS S4 - 2008)

Ces travaux de modélisation hydrosédimentaire ont été validés par l'analyse de données issues d'un courantomètre posé au Sud-Est de Groix (bouée de Chats) entre le 2 Avril et le 3 Mai 2008.

#### Secteur Baie de Quiberon (Carte II.10):

En raison de la configuration bathymétrique et morphologique de la baie et de l'avant côte, seules les houles d'Est et de Sud-Est pénètrent directement dans la baie. Toutefois, en Bretagne Sud, ces houles sont peu fréquentes sur la période étudiée (Chapitre 1). Les houles de secteur Ouest et Nord-Ouest sont contraintes par la passe de la Teignouse (Carte i.1) qui contrôle les processus de réfraction et la propagation de la houle.

La configuration morphologique et bathymétrique de la baie de Quiberon est plus complexe que celle du secteur précédent, et il convient de distinguer quatre secteurs différents :

- La façade Est de la Presqu'île de Quiberon, très abritée, exposée face à l'Est et au Nord Est,
- La baie de Plouharnel et les plages de Carnac, exposées Sud-Est,
- Les côtes découpées des rias, et globalement exposées Sud,
- Les plages d'Arzon, à l'Est de l'entrée du Golfe du Morbihan

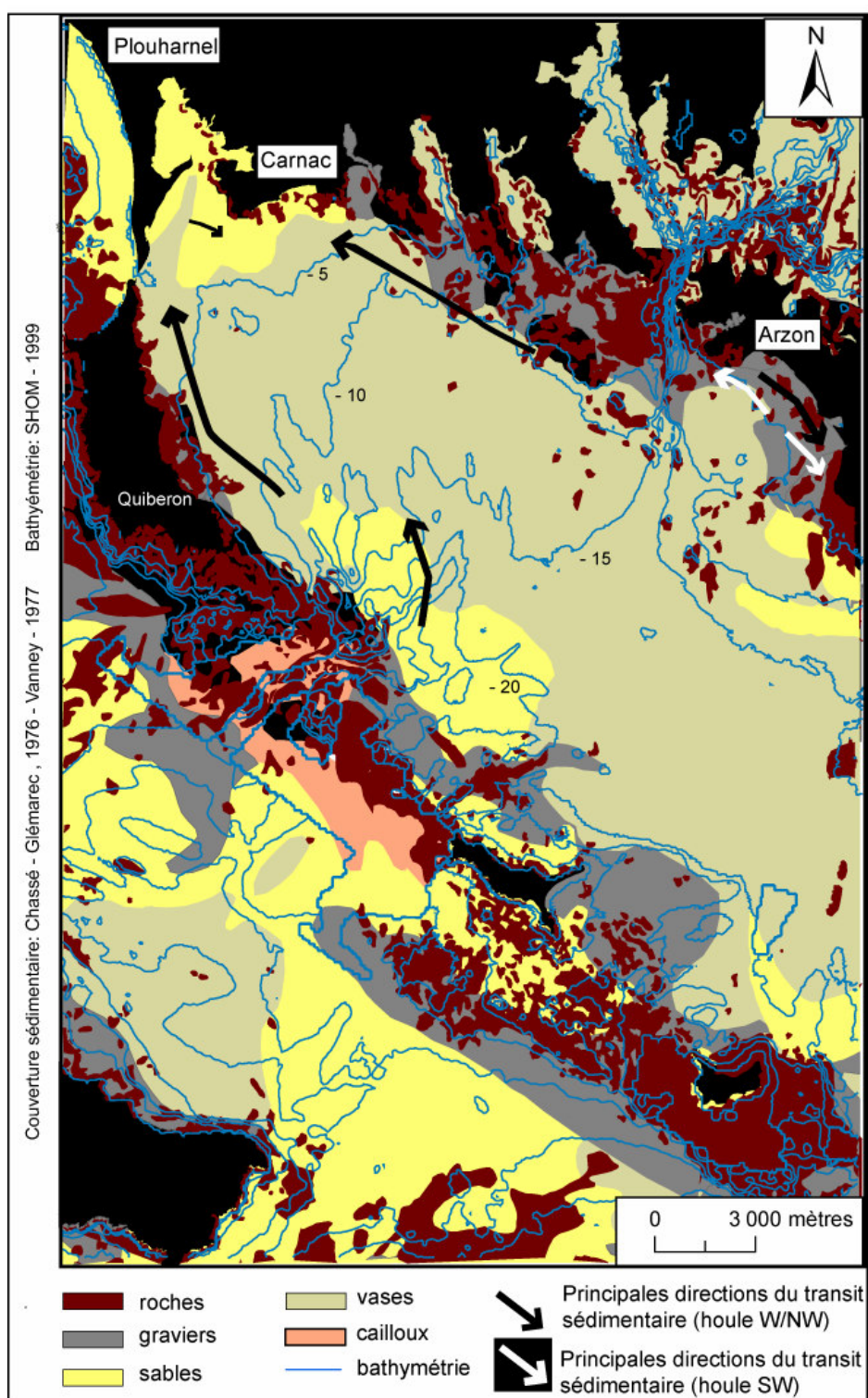
De manière générale, les profondeurs restent inférieures à -25m. Au Sud-Est de la baie, la bathymétrie est largement contrainte par la présence de hauts fonds, localisés dans la continuité de la presqu'île rocheuse de Quiberon. Ces hauts fonds contraignent également la propagation des houles de l'Ouest et du Nord-Ouest. Au passage de ces hauts fonds, les houles sont freinées et réfractées, ce qui génère un courant de dérive littorale orienté vers le Nord-Ouest, le long de la façade Est de la presqu'île. Dans le centre de la baie, la localisation des isobathes par rapport à la passe de la Teignouse laisse supposer que la majeure partie des houles réfractées génèrent un transit sédimentaire orienté vers la baie de Plouharnel et le fond de la baie de Quiberon. L'analyse des variations du trait de côte (Carte II.2) et de la couverture sédimentaire des petits fonds (Carte I.1) souligne l'importance des apports sédimentaires dans ce secteur. Toutefois, il est possible qu'une partie des houles réfractées au niveau de l'isobathe – 15 m génère un transit sédimentaire *crosshore* face aux rias. Dans ce secteur, les courants de marée jouent également un rôle plus important.

Les plages d'Arzon, situées à l'Est de la passe de Port Navalo, paraissent relativement isolées de ce système de circulation sédimentaire dans la mesure où l'entrée du Golfe s'apparente à une rupture bathymétrique marquée par l'isobathe – 30m. Dans ce secteur, la réfraction des houles parallèlement aux isobathes contribue à générer des courants alternativement orientés vers le Nord-Ouest ou Sud-Est. Les houles orientées Ouest sont susceptibles de générer des courants orientés vers le Sud-Est, de la pointe du Petit Mont, vers la pointe du Grand Mont. Les houles orientées Sud, Sud-Est peuvent générer des courants de dérive littorale orientés vers le Nord. Enfin, la réfraction des houles orientées Sud-Ouest, franchissant la baie au niveau de la passe de la Teignouse, contribue à générer un courant de dérive littorale divergent de part et d'autre des plages, orienté vers le Nord-Ouest et vers le Sud-Est. De plus, la circulation sédimentaire est contrainte par l'accélération des courants de marée à l'entrée du Golfe du Morbihan. Les courants de flot sont orientés Nord-Ouest (Carte I.10), les courants de jusant Sud-Est (Carte I.11).

Enfin, il convient de souligner l'importance, en baie de Quiberon, de la zone de fetch qui s'étend sur environ 20 km de longueur et 10 km de largeur, et comprend des profondeurs inférieures à -20 m. Cette forte expansion spatiale de la zone de fetch a été discutée par Jussy et Guilcher (1962).



Elle peut permettre la mise en place de courants de dérive littorale, liés à la propagation et à la réfraction, à une échelle plus locale, de la mer de vent (Sato, 1996, Gomez Pujol et al. 2007). L'orientation des vents les plus forts paraît donc également essentielle dans le fonctionnement hydrosédimentaire de la baie.



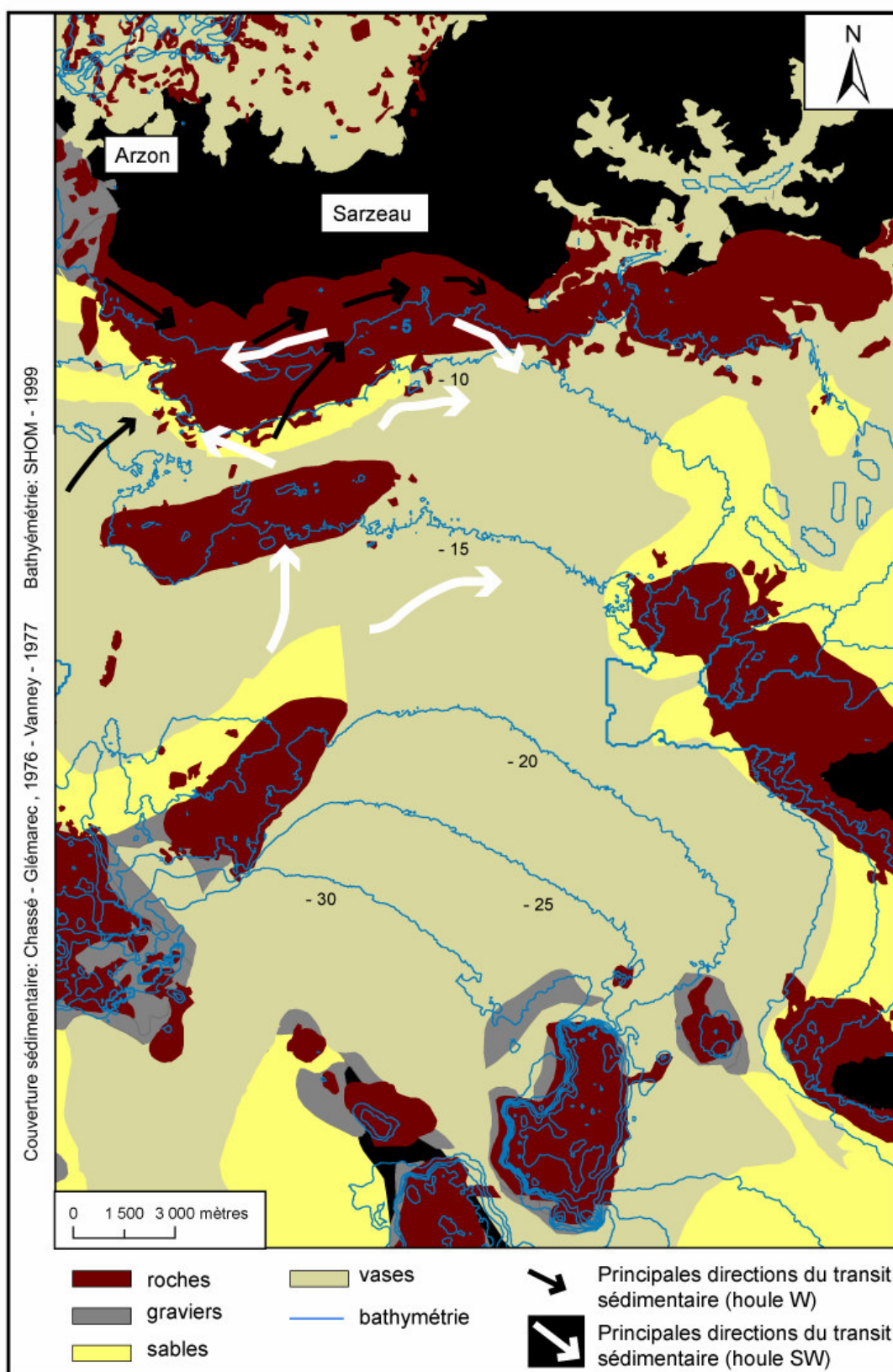
Carte II.10: Cartographie des schémas de circulations sédimentaires dans la baie de Quiberon, pour des houles de secteur Ouest

Secteur Presqu'île de Rhuys - Suscinio (carte II.11):

Dans ce secteur, la réfraction des houles est contrainte par la présence de nombreux platiers rocheux à proximité des côtes. Les isobathes -5m, -10m et -15m sont disposées parallèlement au trait de côte alors que plus au large, les isobathes -20m, -25m et -30m, contraintes par la présence de hauts fonds, sont légèrement orientées Sud-Est. Les plages de Saint Jacques à Beg Lann, situées à l'Ouest de la baie de Suscinio, sont orientées Sud-Est, l'anse de Suscinio est exposée plein Sud et les plages situées à l'Est de Suscinio sont orientées Nord-Ouest. La position abritée des plages et l'extension spatiale de la zone de fetch rappellent la configuration morphologique de la baie de Quiberon et permettent de supposer l'importance de la propagation de la mer de vent dans la mise en place de courants de dérive littorale (*Sato, 1996, Gomez Pujol et al. 2007*).

Cette configuration bathymétrique et morphologique favorise une propagation des houles (ou de la mer de vent) orientées Ouest, quasiment parallèlement au trait de côte, ce qui génère la mise en place d'une dérive littorale orientée Est, Sud-Est le long des plages de la presqu'île (Carte II.11). La réfraction des houles orientées Sud-Ouest à partir des isobathes -20m / -15m peut favoriser une propagation des houles vers l'Ouest et vers l'Est de la presqu'île, entraînant la mise en place de courants de dérive littorale divergents de part et d'autre de l'anse de Suscinio (Carte II.11). Ce type de circulation hydrodynamique a été observé par Tessier (2006). A l'inverse, les houles provenant du Sud et du Sud-Est favorisent la convergence des courants au centre de l'anse de Suscinio. Ces houles sont peu fréquentes (Chapitre 1) et ne sont pas étudiées sur le long terme.

Toutefois, ces transports longitudinaux sont compliqués par l'importance des zones de roches jalonnant la côte. De plus, aux mouvements *alongshore* peuvent s'ajouter des mouvements sédimentaires *crosshore*. En effet, au-delà des isobathes -15m/ -20m, les houles réfractées sur les hauts fonds sont quasiment orientées face au trait de côte. La configuration bathymétrique favorise ainsi des transports sédimentaires *crosshore*, alternativement orientés vers le large et la côte. De tels transports ont été observés sur le terrain, notamment dans la partie la plus centrale de la baie de Suscinio, où l'angle d'obliquité des vagues atteignant la côte lors des campagnes terrain est faible, voire nul.



Carte II.11: Cartographie des schémas de circulations sédimentaires en presqu'île de Rhuy pour des houles de secteur Ouest.



### **II.1.1.b. Identification de la position du trait de côte au sein des cellules sédimentaires**

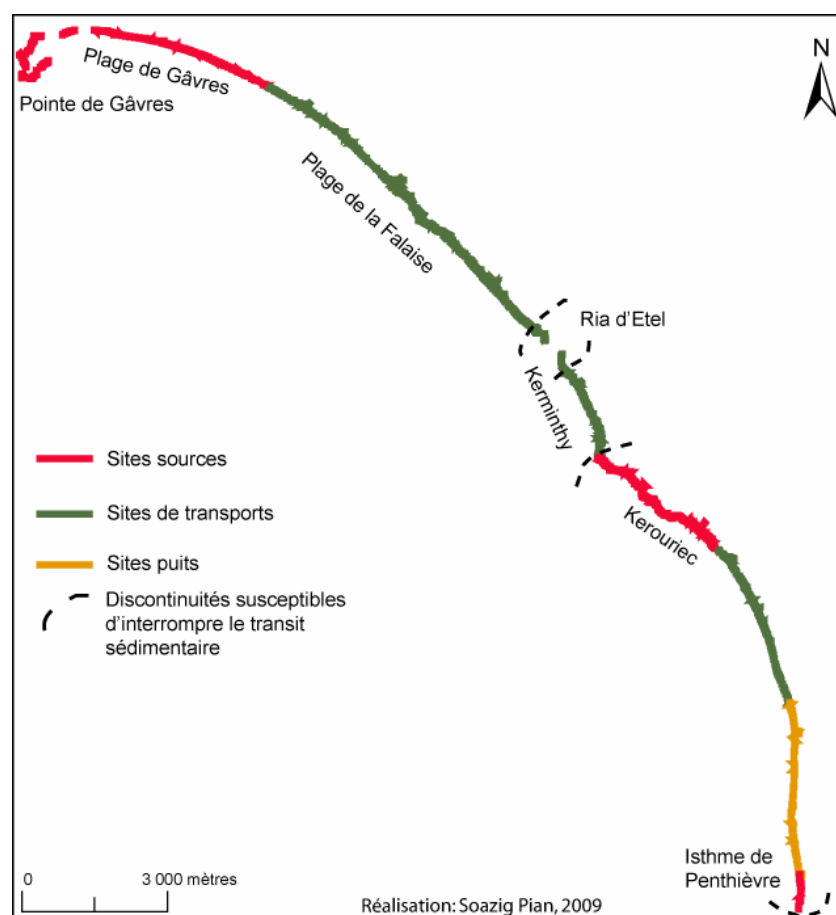
En combinant ces schémas de circulation sédimentaire avec les données relatives à la bathymétrie, la sédimentologie, la morphologie de la côte, et les variations du trait de côte, les limites des cellules sédimentaires ont été identifiées le long des linéaires côtiers étudiés (Chapitre 4) et différents types de sites ont été identifiés au sein de ces cellules sédimentaires. Les cartes suivantes synthétisent les principaux résultats obtenus, par secteur. Ces cartes représentent simplement la position du trait de côte au sein des cellules sédimentaires et ne constituent pas une cartographie complète de l'extension spatiale des cellules sédimentaires.

#### Secteur Gâvres – Penthièvre:

La carte II.12 illustre les résultats obtenus pour le massif dunaire Gâvres - Penthièvre. Le Nord du massif, la plage de Kerhillio, au Sud de la ria d'Etel, et l'extrémité Sud du massif dunaire sont associés à des sites sources, situés à l'aval des courants de dérive littorale. La partie centrale du massif dunaire s'apparente à une vaste zone de transit sédimentaire, où les sédiments *by pass* au niveau de la Ria d'Etel (*Estournes, et al., 2008*). Le Sud du massif dunaire est constitué de sites puits où les courants de dérive littorale favorisent l'accumulation des sédiments.

Au regard de ces résultats, le massif dunaire s'apparente à une vaste cellule sédimentaire, divisée en différentes sous-cellules sédimentaires, où les sédiments transitent du Nord vers le Sud-Est, excepté au niveau de l'isthme de Penthièvre où les falaises de Penthièvre soulignent l'existence d'un site source à partir duquel les sédiments peuvent transiter vers le Nord - Ouest. La première cellule s'étend de la pointe de Gâvres jusqu'aux abords de la plage du Magouëro, au Nord-Ouest de la ria d'Etel. Plus en aval, les sédiments franchissent la ria d'Etel par *by passing* et transitent jusqu'au niveau des plages de Kerminthy et de Kerouriec. Enfin, une circulation sédimentaire orientée Sud-Est se met en place entre la plage de Kerhillio et les plages du Sud de l'isthme de Penthièvre.

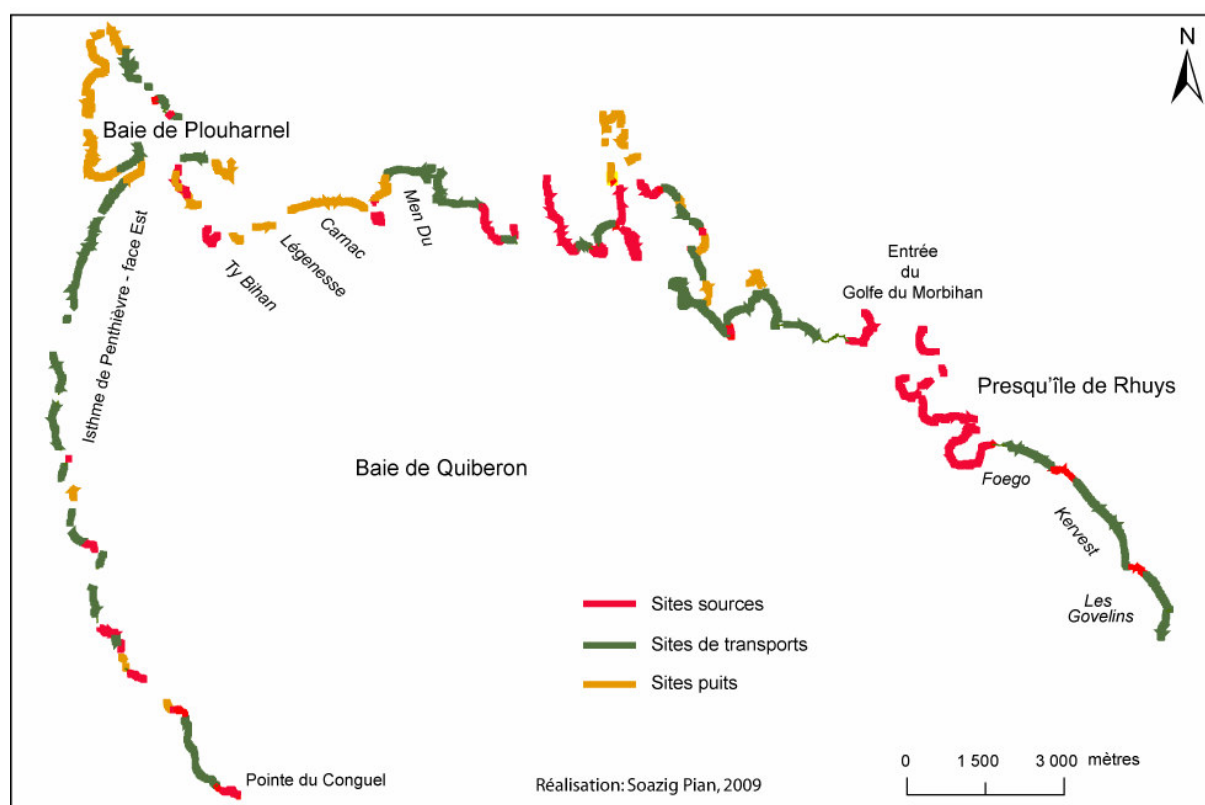
Les discontinuités bathymétriques et morphologiques susceptibles d'interrompre les transferts longitudinaux contribuent ainsi à diviser le système côtier en différentes sub cellules, compliquant ainsi les rythmes de transports sédimentaires, qui restent toutefois majoritairement orientés vers le Sud-Est.



Carte II.12: Position du trait de côte au sein des cellules sédimentaires entre Gâvres et Penthievre

### Secteur Baie de Quiberon :

La carte II.13 illustre les résultats obtenus pour la baie de Quiberon. Elle permet d'identifier trois cellules sédimentaires distinctes. Le long de la face Est de la baie, les sédiments transitent du Sud vers le Nord et le centre de la baie. La baie de Plouharnel apparaît comme un secteur associé à des sites puits. Dans la partie centrale de la baie, les sédiments délivrés par les falaises meubles qui bordent les rias sont également transportés vers la baie de Plouharnel, le long des plages de Carnac, L'égenesse ou Ty Bihan où ils s'accumulent. Enfin, les plages situées au Sud-Est de l'entrée du Golfe du Morbihan, s'apparentent à une zone de transports, interrompue par la présence de pointes rocheuses, au sein desquelles les sédiments transitent alternativement vers le Sud-Est et le Nord-Ouest, en fonction des courants de houle et de marée. La présence de pointes rocheuses permet d'individualiser clairement des sites sources. La localisation des sites puits est quant à elle susceptible de varier en ces pointes rocheuses en fonction de l'orientation dominante des schémas de transports sédimentaires. Pour cette raison, les sites situés dans ces secteurs ont été assimilés à des sites de transport.

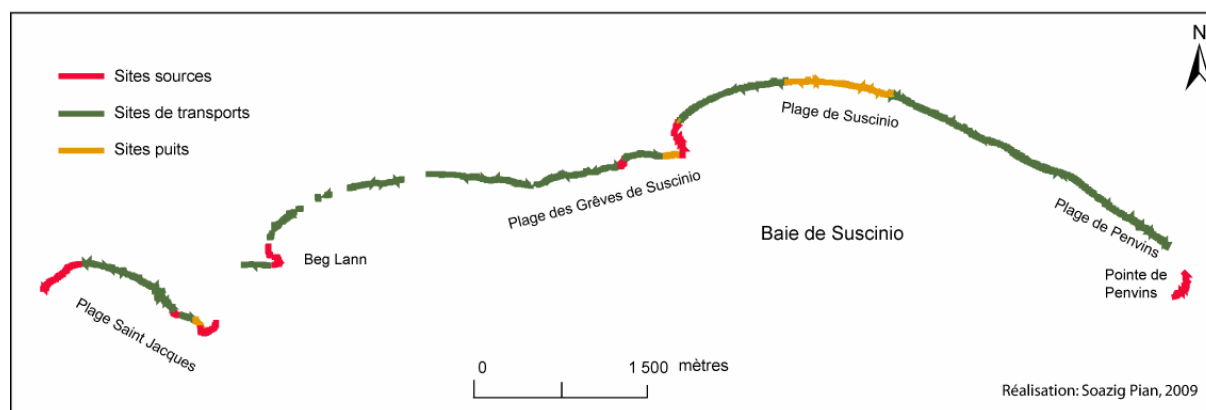


Carte II.13: Position du trait de côte au sein des cellules sédimentaires de la baie de Quiberon

#### Secteur Presqu'île de Rhuys - Suscinio:

La carte II.14 illustre les résultats obtenus pour la presqu'île de Rhuys, dans le secteur de l'anse de Suscinio. La majeure partie du linéaire côtier cartographié s'inscrit dans des sites de transit. Seules les pointes rocheuses, telles les pointes de Saint Jacques, de Beg Lann, des Grèves de Suscinio et de Penvins s'apparentent à des sites sources, délivrant des sédiments. Trois secteurs ont été identifiés comme des sites puits. Le premier est abrité à l'Ouest de la pointe Saint Jacques, le second se situe à l'Ouest de la pointe des Grèves de Suscinio et le troisième au centre de la baie de Suscinio où la plupart des courants de dérive littorale favorisent l'accumulation des sédiments transportés le long de la côte.

Au regard de ces résultats, cette portion de la presqu'île de Rhuys s'apparente à une vaste zone de transit où les sédiments *by pass* entre les platiers rocheux, souvent affleurants. Seul le centre de la baie peut être associé à des secteurs d'accumulation plus pérenne.



Carte III.14: Position du trait de côte au sein des cellules sédimentaires de la presqu'île de Rhuys

### II.1.2. Identification des « contraintes naturelles » associées au recul des falaises

Les tableaux suivants (II.7 – II.8 – II.9) synthétisent les principales caractéristiques des falaises étudiées en fonction de critères retenus pour l'analyse du recul du sommet des falaises, à savoir le type de falaise, le type de couvert végétal établi sur le sommet des falaises et l'exposition des falaises, pour la Presqu'île de Quiberon.

Les falaises de la Presqu'île rocheuse de Quiberon (face Ouest) sont principalement constituées de falaises dures, de type 4 (Tableau II.7). Ce type de falaise représente 71.98% du linéaire côtier. La moitié de ces falaises est dépourvue de couverture végétale alors que 36% du linéaire côtier constitué par ce type de falaise est recouvert d'une végétation rase et basse, type pelouse maritime.

	Longueur du linéaire côtier en m	% par rapport au linéaire côtier total
Type 2: falaises meubles < 5m	1 183	4.84%
Type 3: falaises meubles < 10m	5 668	23.18%
Type 4: falaises "dures"	17 600	71.98%

a) Type de falaise rencontré sur la Presqu'île de Quiberon - face Ouest

	Arbustes/ buissons	Formations basses	Roches nues
Type 2: falaises meubles < 5m	26%	73%	1%
Type 3: falaises meubles < 10m	66%	29%	5%
Type 4: falaises "dures"	14%	36%	50%

b) Couverture végétale des falaises de la Presqu'île de Quiberon - face Ouest - (par type de falaise).

Tableau II.7: Caractéristiques des falaises de la presqu'île de Quiberon.

Les falaises meubles, situées aux extrémités Nord et Sud de la Presqu'île, représentent une part minime du linéaire côtier. Plus de la moitié des falaises comprises entre 5 m et 10 m d'altitude est colonisée par une végétation buissonnante et/ou arbustive (66%), alors que la couverture végétale des falaises inférieures à 5m est principalement constituée de formations basses (73%).

Le découpage du trait de côte en fonction de son orientation, effectué au 1 : 10 000, a permis d'individualiser les différentes portions de côte associées aux 8 orientations retenues pour l'analyse. Les secteurs dominants sont les secteurs Ouest, suivis des secteurs Nord-Ouest et Sud-Ouest. A l'inverse, les falaises exposées Est représentent une part infime du linéaire côtier, inférieure à 1% (Tableau II.8).

<b>Orientation du trait de côte</b>	<b>% par rapport au linéaire côtier total</b>
Nord	11.63%
Nord-Est	11.80%
Est	0.61%
Sud-Est	2.02%
Sud	8.09%
Sud-Ouest	19.86%
Ouest	26.74%
Nord-Ouest	19.24%

*Tableau II.8: Orientation du trait de côte le long de la presqu'île de Quiberon - Découpage au 1 : 10 000*

Dans le Golfe du Morbihan, les falaises les plus hautes ne dépassent pas 10m (Type 3). Elles se situent à l'Ouest de l'île aux Moines et représentent à peine 7% du linéaire côtier non artificialisé (Tableau II.9). Les falaises les plus fréquemment rencontrées sont les falaises meubles de type 2, inférieures à 5m. Ce type de falaise représente plus de 69% du linéaire côtier non artificialisé (Tableau II.9). Sur ces deux types de falaise, les formations végétales les plus fréquentes sont des formations arborées et des formations arbustives ou buissonnantes. Les micros falaises (Type 1) constituent quant à elles le deuxième type de falaise le plus répandu dans le Golfe du Morbihan (23.59%) (Tableau II.9). Elles sont principalement colonisées par des formations basses (Type 1 – Chapitre 1) (62.76%) ou arbustives et/ou buissonnantes (28.75%).

	Longueur du linéaire côtier en m	% par rapport au linéaire côtier total
Type 1: micros falaises	37 206	23.59%
Type 2: falaises meubles < 5m	109 155	69.20%
Type 3: falaises meubles < 10m	11 374	7.21%

a) Type de falaise rencontré dans le Golfe du Morbihan

	Végétation arborée	Arbustes/ buissons	Formations basses
Type 1: micros falaises	8.49%	28.75%	62.76%
Type 2: falaises meubles < 5m	49.20%	44.05%	6.76%
Type 3: falaises meubles < 10m	49.68%	49.81%	0.51%

b) Couverture végétale des falaises du Golfe du Morbihan - (par type de falaise).

*Tableau II.9: Caractéristiques des falaises du Golfe du Morbihan*

Synthèse générale:

L'ensemble des traitements réalisés à partir des couches d'informations spatiales présentées au chapitre précédent a permis de caractériser les principales contraintes naturelles susceptibles d'interagir avec le fonctionnement des systèmes côtiers étudiés.

Au sein des systèmes dunes-plages, ont pu être établis les principaux schémas de transports sédimentaires longitudinaux, ainsi que les discontinuités contribuant à les perturber. A partir de ces informations, les limites des cellules sédimentaires ont pu être identifiées et trois types de sites ont été cartographiés au sein de chaque système littoral : les sites puits – les sites sources et les sites de transports. Au sein du massif dunaire Gâvres-Penthièvre, les schémas de circulation sédimentaire sont principalement orientés Sud-Est. Le système côtier fonctionne comme une vaste cellule sédimentaire, divisée en différentes sous-cellules. Au sein de la baie de Quiberon, deux cellules sédimentaires se distinguent nettement l'une de l'autre de part et d'autre des rias et de l'entrée du Golfe du Morbihan. Au sein de ces cellules, la circulation des sédiments est contrôlée par la configuration bathymétrique de la baie et l'importance de la zone de fetch. Le long des plages de la Presqu'île de Rhuys, les schémas de circulation sédimentaire, compliqués par l'importance des zones de roches et des pointes rocheuses, sont plus difficilement identifiables. Le site s'apparente à une vaste zone de transport et de *by passing* où les transports sédimentaires sont contraints par l'action conjuguée des houles réfractées et des courants associés à la propagation de la mer de vent. Ces résultats sont cohérents avec les travaux de Tessier (2006) qui ont cherché à modéliser les circulations hydrosédimentaires en Bretagne Sud. Les trois systèmes dunes-plages étudiés présentent ainsi différents modes de fonctionnement à l'échelle du système côtier.

Au sein des systèmes de falaises, les caractéristiques des facteurs retenus pour expliquer le recul du trait de côte dans les systèmes de falaises diffèrent également au sein des deux systèmes côtiers étudiés. Au sein de la Presqu'île de Quiberon, les falaises rocheuses sont exposées à l'action de la houle et majoritairement couvertes par une végétation basse et rase. Le couvert végétal est parfois fortement dégradé, voir inexistant. A l'inverse, le Golfe du Morbihan s'apparente à un système de petites falaises meubles, abritées des houles océaniques, fortement altérées, et couvertes d'une végétation buissonnante, arbustive ou arborée.

## **II.2. Résultats et interprétation de l'analyse multiscalaire de la répartition spatiale des sites en érosion et en accrétion au sein des systèmes côtiers**

Cette seconde section a pour objet de discuter les résultats obtenus à l'aide des analyses spatiales effectuées à partir de la base de données relative aux variations du trait de côte. Les différentes analyses entreprises ont eu pour objectif d'examiner les relations spatiales existant entre les différentes entités spatiales étudiées – sites en érosion et sites en accrétion – et la distribution spatiale des contraintes associées à leur évolution. L'interprétation des résultats conduit à identifier différents types d'associations spatiales entre d'une part, les sites caractérisés par certains types d'évolution du trait de côte (érosion vs accrétion) et, d'autre part, les caractéristiques des contraintes naturelles et/ou anthropiques. L'analyse de ces associations spatiales permet de formuler des hypothèses sur les types de comportements géomorphologiques caractérisant les systèmes côtiers étudiés.

### **II.2.1. Résultats et interprétations de l'analyse de la distribution spatiale des contraintes associées aux mouvements du trait de côte à l'échelle des systèmes côtiers**

Dans un premier temps, sont présentés les résultats concernant l'analyse de la distribution spatiale des sites en fonction, d'une part des mouvements du trait de côte, et d'autre part des caractéristiques de contraintes naturelles et anthropiques qui leur sont associées. Ces résultats sont introduits sous forme de cartes représentant les cercles et les ellipses obtenus pour caractériser ces distributions spatiales. Leur localisation et la longueur des rayons indiquent des informations sur l'importance de la dispersion des phénomènes cartographiés.

#### ***II.2.1.a. Massif dunaire Gâvres – Penthievre***

Entre 1952 et 2004, la distribution spatiale des sites en érosion et en accrétion est représentée par deux ellipses, couvrant l'ensemble du massif dunaire. Elles sont respectivement orientées vers le Nord et le Sud. Elles traduisent une dispersion des polygones en érosion et accrétion sur l'ensemble du massif dunaire, avec une plus forte représentation des sites en érosion au Nord, et une plus forte représentation des sites en accrétion au Sud. L'augmentation des surfaces bâties et des chemins côtiers est respectivement représentée par des cercles de rayon supérieur à 6847m et 6650m, indiquant une dispersion sur l'ensemble du massif dunaire. Les sites associés à des entités morphologiques type falaise, sont, à l'inverse, fortement concentrés au Nord où ils sont représentés par un cercle de rayon de 259 m (Carte II.15 a).

Entre 1952 et 1985, l'ellipse représentant la distribution spatiale des sites en érosion est plus large que l'ellipse représentant les sites en accrétion. Les polygones en érosion sont plus nombreux et plus dispersés sur l'ensemble du massif dunaire que les polygones en accrétion. L'augmentation des surfaces bâties est dispersée sur le Nord et la partie centrale du massif dunaire (distance standardisée = 5620 m). Les sites associés à une augmentation des chemins côtiers, représentés par un cercle dont le rayon approche 4773 m, sont plus concentrés sur la partie centrale du massif dunaire (Carte II.15 b).

Entre 1985 et 1999, les sites en érosion et en accrétion sont caractérisés par des degrés similaires de dispersion avec des distances standardisées respectivement proches de 7783 m et 7027 m. L'augmentation des surfaces artificialisées est dispersée sur le Nord et la partie centrale du massif dunaire (distance standardisée = 7395 m). L'augmentation du nombre de chemins côtiers est davantage concentrée dans le Sud du massif dunaire (distance standardisée = 5063 m) (Carte II.15 c).

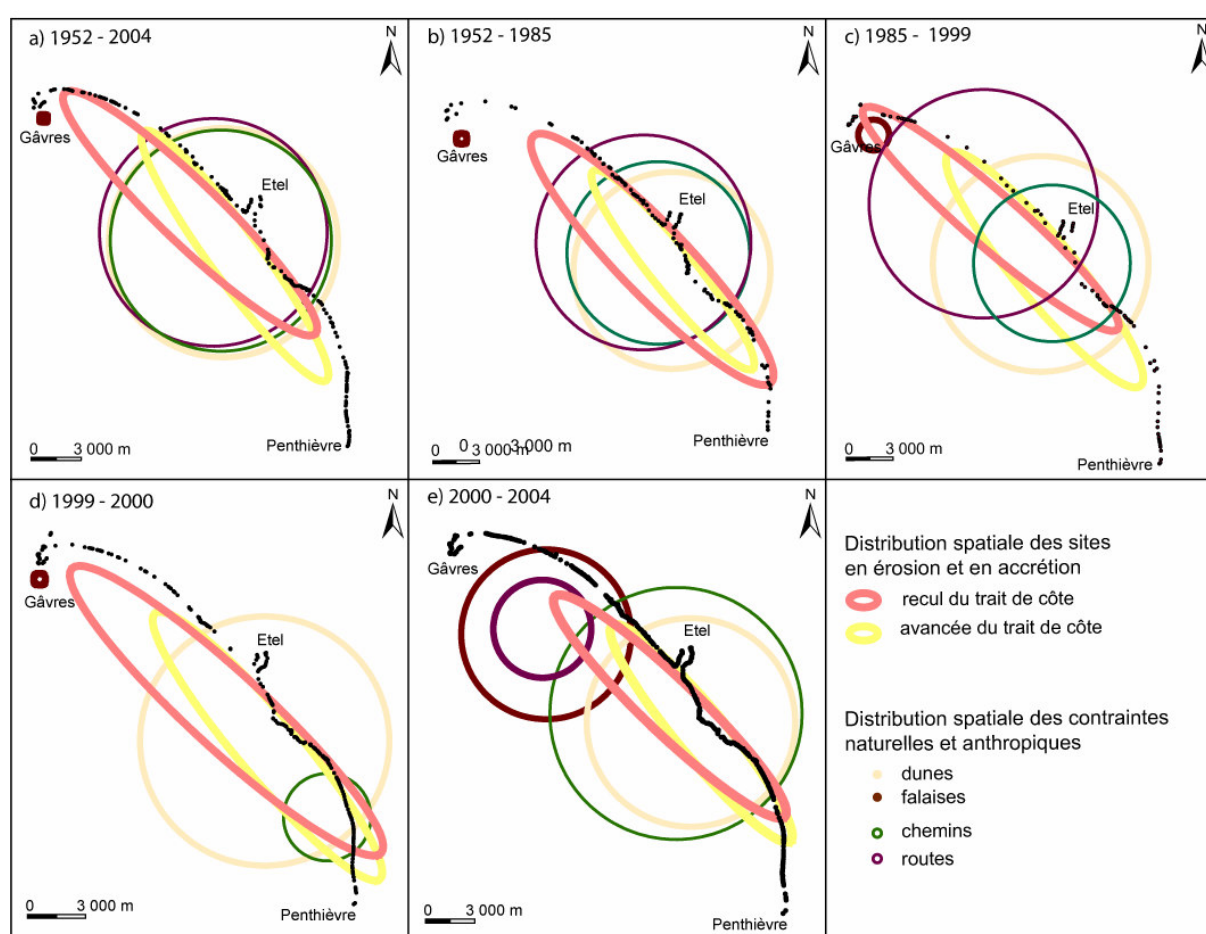
Entre 1999 et 2000, les sites en érosion sont plus dispersés sur l'ensemble du massif dunaire que les sites en accrétion. Aucune augmentation des surfaces artificialisées n'est enregistrée sur cette période. L'augmentation des chemins côtiers est fortement concentrée dans le sud du massif dunaire par rapport aux pas de temps précédents (distance standardisée = 2262 m) (Carte II.15 d).

Entre 2000 et 2004, la distribution des sites en érosion et en accrétion est similaire à celle observée pour les autres pas de temps. Les sites sont dispersés sur l'ensemble du massif dunaire. L'ellipse représentant la distribution spatiale des polygones en érosion est orientée vers le Nord, et celle représentant les polygones en accrétion vers le Sud. L'augmentation des surfaces artificialisées est fortement concentrée sur le Nord du massif dunaire (distance standardisée = 2980 m). L'augmentation du nombre de chemins est largement plus dispersée sur l'ensemble du massif dunaire (distance standardisée = 7673m) (Carte II.15 e).

D'une manière générale, les résultats obtenus par cette analyse indiquent que l'ensemble des sites et des contraintes qui leur sont associées est dispersé le long du linéaire côtier. A l'exception des sites marqués par un recul des falaises qui sont concentrés au niveau de la pointe de Gâvres, l'ensemble des variables contenues dans la base de données est dispersé, sur tous les pas de temps. La distribution spatiale des sites en érosion et en accrétion est similaire sur l'ensemble des pas de temps étudiés. L'augmentation des surfaces bâties est concentrée sur le Nord du massif dunaire, autour du bourg de Gâvres, sur le pas de temps 2000 – 2004. Sur les autres pas de temps – excepté entre 1999 et 2000 – l'augmentation des surfaces bâties est plus diffuse, témoignant de la mise en place d'aménagements spécifiques, notamment à proximité des accès aux plages, sur toute la longueur du linéaire côtier. L'augmentation des chemins côtiers représente, quant à elle, un phénomène concernant l'ensemble du massif dunaire, plus marqué dans le Sud entre 1985-1999, et 1999-2000.



Ces résultats traduisent un agencement complexe des sites en érosion et en accrétion ainsi que de leurs caractéristiques correspondant au cas théorique proposé par la figure II.9 : les différentes variables sont imbriquées spatialement et il est difficile de distinguer des espaces associés à des modes d'évolution géomorphologique distincts. En outre, sur les pas de temps récents (1999-2000) et (2000-2004) la forte variation des données attributaires observée sur les graphes résulte, pour partie, d'un effet temporel, affectant les variables: entre 1999 et 2000, le nombre de chemins côtiers établis sur la dune ainsi que le recul des falaises sont très peu importants, impliquant un nombre réduit de polygones et de fortes concentrations. A l'inverse, entre 2000 et 2004, la meilleure qualité des orthophotographies utilisées pour numériser les traits de côte et la forte réduction des marges d'erreurs permettent de cartographier un nombre de sites en recul plus important au niveau des falaises de Gâvres.



Carte II.15: Modèle graphique représentant la distribution spatiale des contraintes déterminant l'évolution du trait de côte au sein du massif dunaire Gâvres - Penthièvre entre 1952 et 2004

**II.2.1.b. La baie de Quiberon**

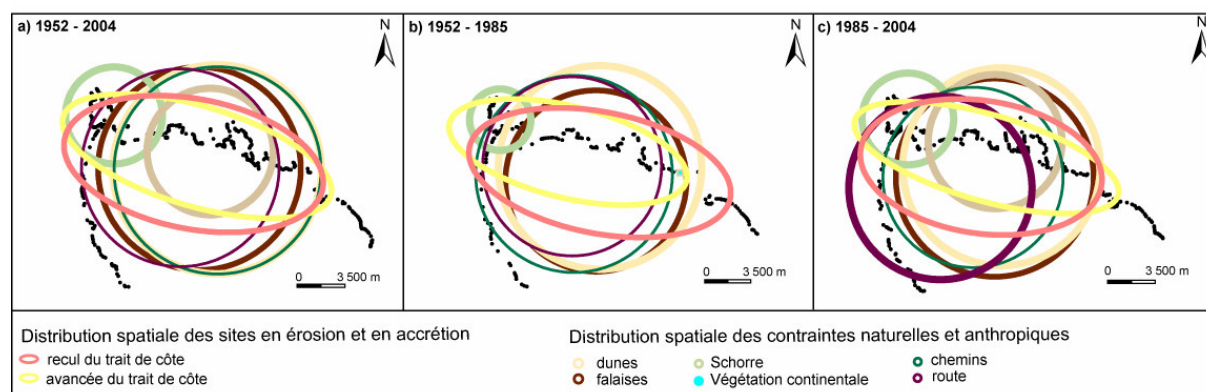
Entre 1952 et 2004, les sites en érosion et en accrétion sont dispersés sur l'ensemble de la baie de Quiberon. Les polygones associés à des entités morphologiques type « falaise » (distance standardisée= 7447 m) et « dune » (distance standardisée = 7668 m) sont dispersés dans l'ensemble de la baie. A l'inverse, les polygones associés à des entités morphologiques type « schorre » sont concentrés (distance standardisée = 3554m) au Nord-Ouest de la baie, au niveau de la baie de Plouharnel. Les surfaces caractérisées par une progradation de la végétation continentale sur l'estran sont concentrées (distance standardisée= 4639 m) dans la partie centrale de la baie, au niveau des plages de Carnac. Les surfaces concernées par une augmentation des surfaces artificialisées et une augmentation du nombre de chemins côtiers sont dispersées dans l'ensemble de la partie la plus centrale de la baie et sont caractérisées par des distances standard de respectivement 7258 m et 7608 m (Carte II.16 a).

Entre 1952 – 1985, les distributions des types d'entités morphologiques et de contraintes anthropiques associées aux mouvements d'érosion et d'accrétion sont similaires à celles observées pour la période 1952 – 2004. Seule la distribution des surfaces caractérisées par une progradation de la végétation continentale sur l'estran est différente. Elles sont davantage concentrées à l'Ouest de l'entrée du Golfe du Morbihan (distance standardisée= 8 m) (Carte II.16 b).

Sur la période 1985 – 2004, les distributions spatiales des sites et des caractéristiques associées aux variations du trait de côte sont similaires à celles observées sur la période 1952 – 2004. La dispersion des surfaces construites est légèrement moins importante (distance standardisée= 6791 m) et davantage orientée vers la côte Ouest de la baie de Quiberon. De même, la dispersion des polygones associés à une augmentation des chemins côtiers est légèrement moins importante, caractérisée par une distance standardisée de 6679 m (Carte II.16 c).

D'une manière générale, la distribution spatiale des sites en érosion et en accrétion est semblable, au sein de la baie de Quiberon, sur l'ensemble des pas de temps étudiés. Ce dernier point traduit une dispersion importante des sites enregistrant un recul et une avancée du trait de côte sur tous les pas de temps. Les types de morphologie étudiés – falaise, dune – sont également dispersés sur tout le pourtour de la baie, à l'exception des surfaces couvertes par les schorres concentrées dans l'espace abrité de la baie de Plouharnel. Enfin, sur chacun de ces pas de temps, les contraintes anthropiques associées aux variations du trait de côte sont également fortement dispersées. Il convient de noter toutefois que l'augmentation des surfaces artificialisées est davantage orientée vers l'Ouest et le centre de la baie, où sont concentrés les principaux bourgs, tel que Saint Pierre Quiberon ou Carnac.

Tout comme au sein du massif dunaire, l'analyse de la distribution spatiale des sites en érosion et en accrétion, ainsi que celle des principales contraintes associées aux mouvements du trait de côte, ne permet pas de distinguer des espaces spécifiques marqués par un type de comportement géomorphologique bien distinct. Cette forte dispersion peut être interprétée comme un indice de complexité résultant d'une forte imbrication spatiale entre l'ensemble des sites caractérisés par des contraintes et des dynamiques différentes.



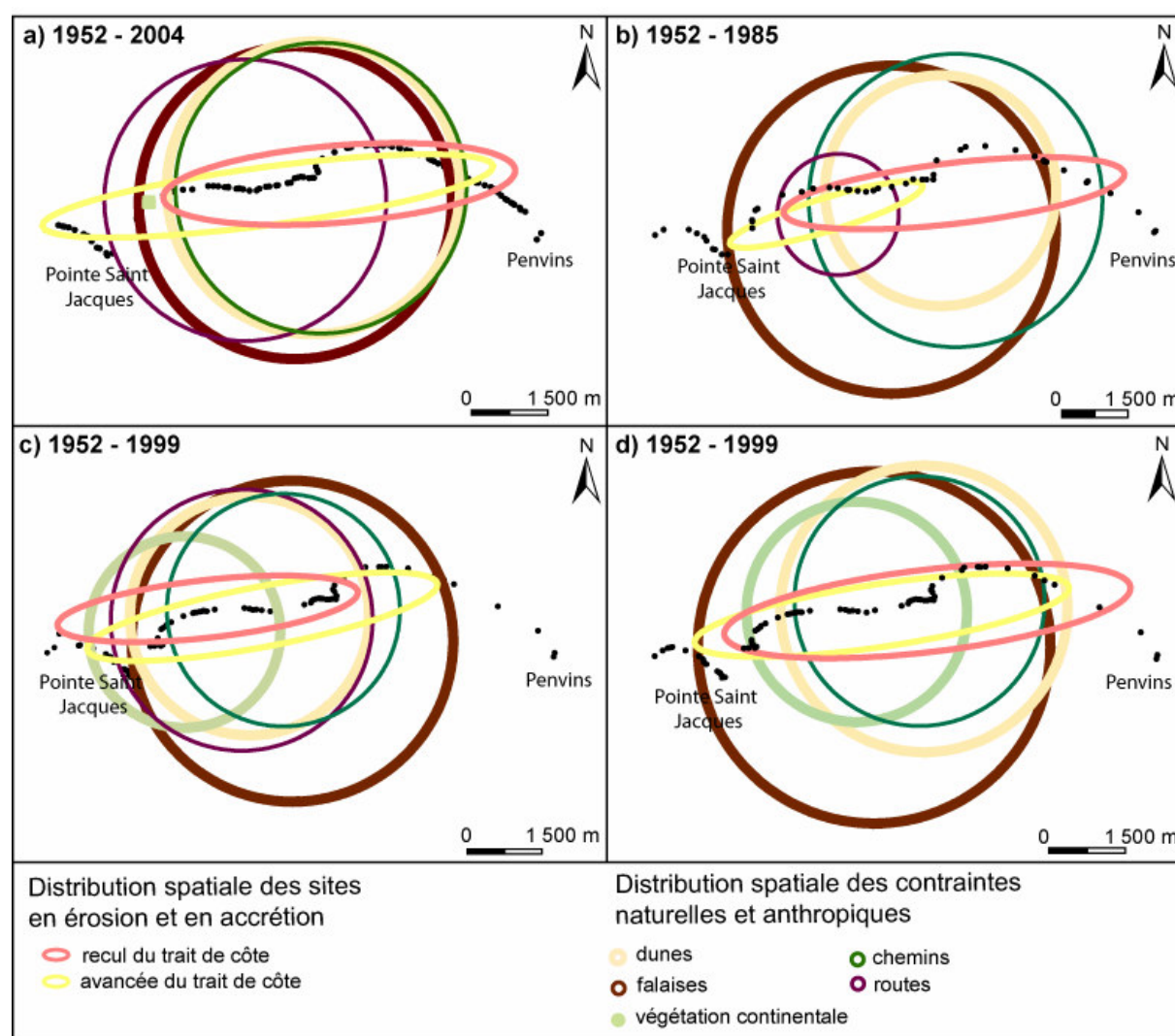
Carte II.16: Modèle graphique représentant la distribution spatiale des contraintes déterminant l'évolution du trait de côte au sein de la baie de Quiberon entre 1952 et 2004.

### II.2.1.c. Presqu'île de Rhuys – secteur Susicinio

Entre 1952 et 2004, la distribution spatiale des sites en accrétion apparaît plus diffuse le long du linéaire côtier que la distribution des sites en érosion, davantage concentrée dans la partie centrale de la baie de Susicinio. Les distributions des falaises et des dunes, caractérisées par des distances standard respectivement égales à 3088 m et 2892 m, sont dispersées le long du linéaire côtier. Les surfaces caractérisées par une progradation de la végétation continentale sur l'estran sont concentrées à l'Ouest de la Presqu'île de Rhuys. Les sites associés à une augmentation des chemins côtiers et à une augmentation des surfaces bâties sont caractérisés par des degrés de dispersion similaire, avec une distance standardisée égale à 2871 m pour les chemins, et 2781 m pour les surfaces bâties, qui sont davantage orientées vers l'Ouest (Carte II.17 a).

Entre 1952 et 1985, les sites en accrétion sont concentrés vers l'Ouest, et les sites en érosion sont davantage dispersés sur l'ensemble du littoral. L'augmentation des surfaces artificialisées est concentrée à l'Ouest de la Presqu'île (distance standardisée = 1379 m). Les sites associés à une augmentation des chemins côtiers sont quant à eux dispersés sur l'ensemble de la presqu'île (distance standardisée = 3340 m) (Carte II.17 b).

Entre 1985 et 1999, les distributions spatiales des polygones en érosion et en accrétion et des variables qui leur sont associées sont similaires à celles observées sur la période 1952 – 2004. La dispersion des surfaces construites et des polygones associés à une augmentation des chemins côtiers est toutefois légèrement moins importante avec des distances standard égales à respectivement 2637m et 2345m (Carte II.16 c). De la même façon, les distributions spatiales des sites étudiés entre 1985 et 1999 sont similaires à celles observées sur les pas de temps 1952 – 2004 et 1985 -1999. Il faut toutefois noter pour ce pas de temps, l'absence des sites caractérisés par une augmentation des surfaces bâties (Carte II.17 d).



Carte II.17 : Modèle graphique représentant la distribution spatiale des contraintes déterminant l'évolution du trait de côte de la presqu'île de Rhuys (1952 - 2004)

Au sein de la presqu'île de Rhuys, la répartition spatiale des sites en érosion et en accrétion enregistre certaines différences, suivant les pas de temps étudiés. Sur l'ensemble de la période étudiée (1952 – 2004), les sites en érosion sont moins dispersés et davantage orientés vers l'Est que les sites en accrétion.

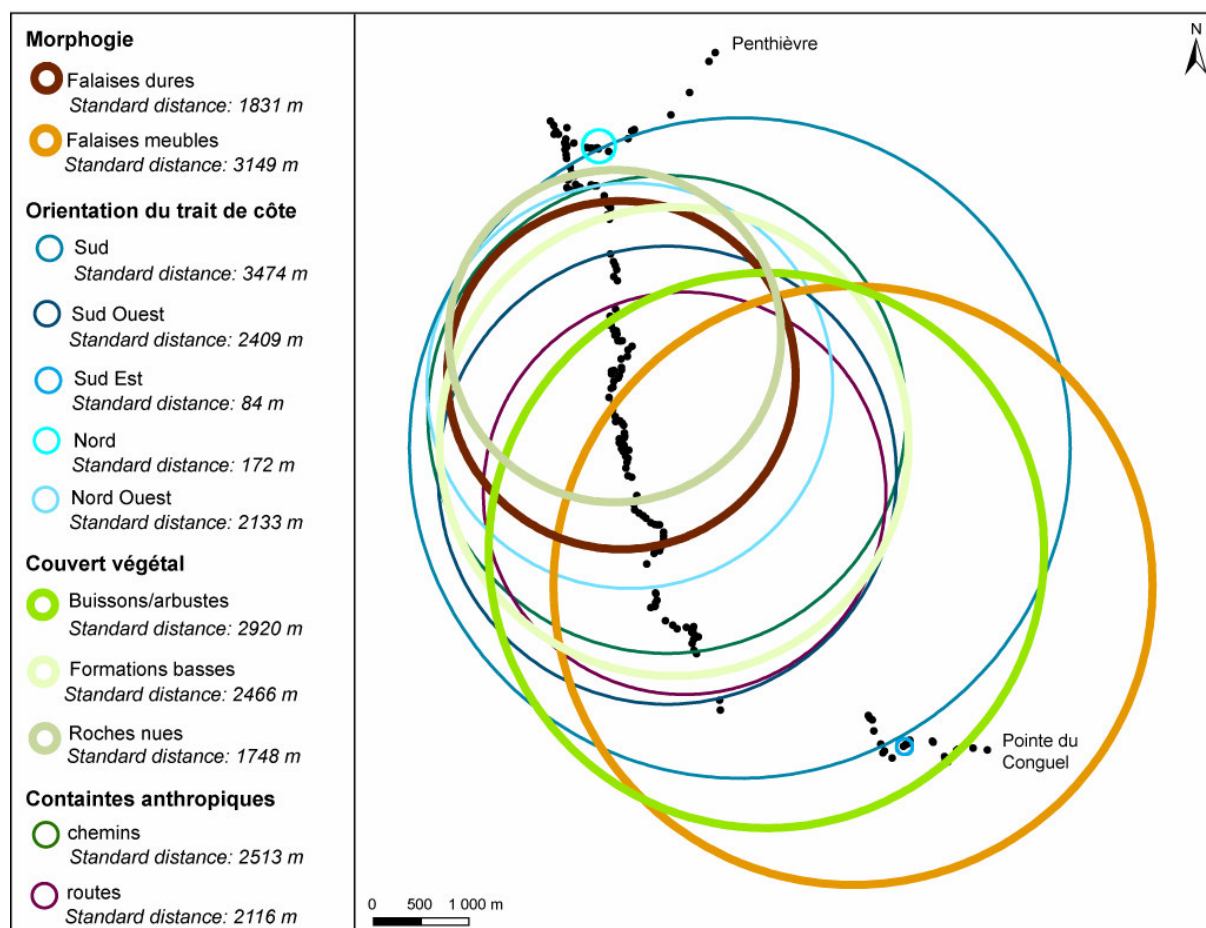
Sur les pas de temps intermédiaires, la période 1952 – 1985 se distingue nettement des autres pas de temps avec une forte concentration des sites en accrétion à l'Ouest de la presqu'île et une plus forte dispersion des sites en érosion sur l'ensemble du littoral. A l'inverse, sur la période suivante (1985 - 1999), les sites en érosion sont davantage orientés à l'Est. Ces différences traduisent une forme de variabilité, à la fois spatiale et temporelle, dans l'occurrence des processus d'érosion et d'accrétion caractérisant les mouvements du trait de côte. En outre, les sites associés à une augmentation des chemins côtiers et des surfaces bâties sont fortement dispersés sur tous les pas de temps, à l'exception des surfaces bâties qui sont davantage concentrées à l'Ouest sur le pas de temps 1952 – 1985.

#### **II.2.1.d. Presqu'île de Quiberon**

Les falaises rocheuses de type 4 (Chapitre 1) sont concentrées dans la partie la plus centrale de la presqu'île de Quiberon (distance standardisée = 1831 m) alors que les falaises meubles sont plus dispersées, notamment dans la partie Sud de la presqu'île (distance standardisée= 3149 m). La distribution spatiale du type de couvert végétal est similaire: les formations buissonnantes et arbustives sont dispersées sur l'ensemble de la presqu'île (distance standardisée = 2920 m), les formations basses sont légèrement plus concentrées dans la partie centrale de la presqu'île (distance standardisée= 2460 m) et les falaises dont le sommet est dépourvu de couverture végétale sont nettement plus concentrées dans la partie centrale de la presqu'île (distance standardisée= 1748 m). Ces résultats permettent d'associer spatialement les falaises rocheuses de type 4 avec l'absence de couverture végétale au sommet des falaises et la présence d'une couverture végétale composée de formations basses.

Les secteurs d'exposition les plus dispersés sur l'ensemble du massif dunaire sont respectivement les secteurs Sud, Sud-Ouest et Nord-Ouest, représentés par des cercles de rayon 3474 m, 2409 m et 2133 m. Les secteurs orientés Sud-Est (distance standardisée= 84 m) et Nord (distance standardisée= 172 m) sont les plus concentrés, respectivement aux extrémités Sud et Nord du massif dunaire. Ils résultent de la rugosité locale du trait de côte.

Les sites associés à une augmentation du nombre de chemins côtiers entre 1952 et 2004 sont dispersés sur l'ensemble du massif dunaire (distance standardisée= 2513 m). L'augmentation des surfaces bâties, sur la même période, est légèrement plus concentrée dans le Sud du massif dunaire (distance standardisée= 2116 m), au niveau du bourg et des ports de Quiberon (carte II.18).



Carte II.18: Modèle graphique représentant la distribution spatiale des contraintes déterminant l'évolution du trait de côte de la façade Ouest de la presqu'île de Quiberon (1952 - 2004).

### II.2.1.e. Le Golfe du Morbihan

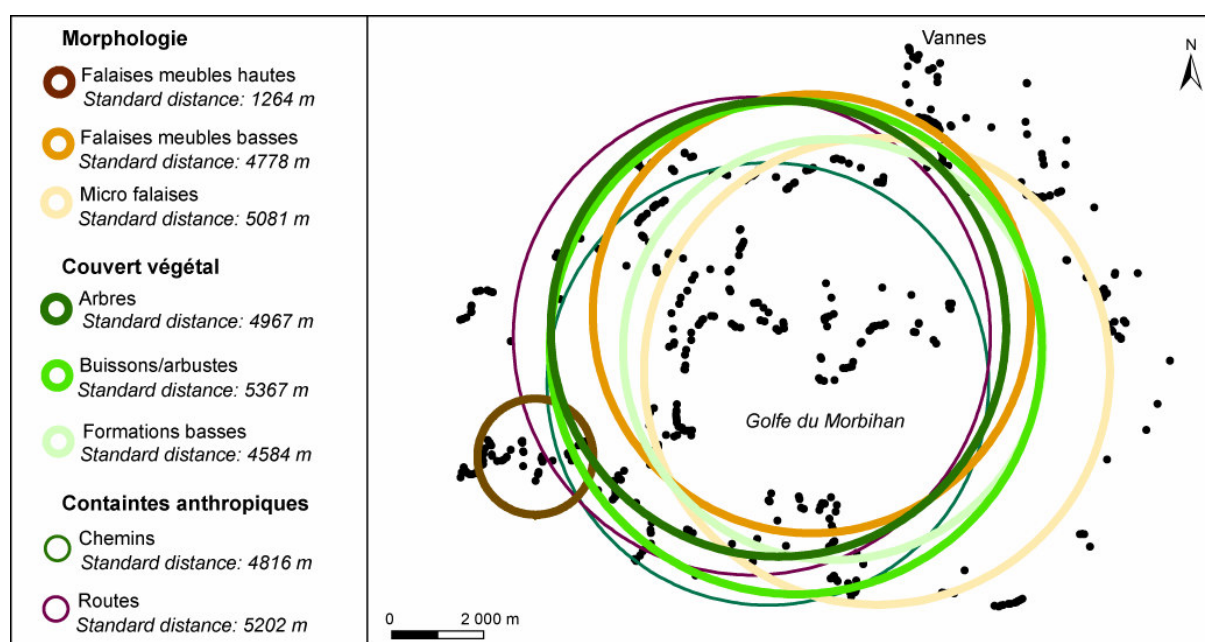
Les micros falaises (type 1) et les falaises meubles basses (type 2) sont dispersées dans l'ensemble du Golfe du Morbihan. Leurs distributions spatiales sont caractérisées par des distances standard respectivement égales à 5081 m et 4778 m. Le cercle représentant les petites falaises meubles couvre l'ensemble des pourtours du Golfe, alors que le cercle représentant les micros falaises est davantage centré sur le Sud-Est, secteur dominé par la présence de vasière et marais maritime. Les grandes falaises meubles sont concentrées (distance standardisée = 1264 m) à l'entrée du Golfe du Morbihan.

Les trois types de couvert végétal répertoriés sur le sommet des falaises sont dispersés dans l'ensemble du Golfe. Les distances standardisées obtenues pour les couvertures buissonnantes/arbustives et arborées sont respectivement de 5367 m et 4967 m.



La dispersion des formations basses est légèrement moins importante avec une distance standardisée égale à 4583 m, et davantage orientée vers l'Est du Golfe. Ainsi la répartition spatiale du type de couvert végétal est relativement ubiquiste: les différents types de couvert végétal ne semblent pas associés à des types spécifiques de falaise, à l'exception des formations basses légèrement mieux représentées dans le Sud-Est du Golfe où sont également davantage concentrées les micros falaises.

Les contraintes anthropiques caractérisant le littoral sont dispersées dans l'ensemble du Golfe, avec une distance standardisée égale à 4816m pour l'augmentation du nombre de chemins côtiers, et égale à 5202 m pour l'augmentation des surfaces bâties (carte II.19).



Carte II.19: Modèle graphique représentant la distribution spatiale des contraintes déterminant l'évolution du trait de côte du Golfe du Morbihan (1952 - 2004).

Synthèse :

A l'échelle des systèmes côtiers, les sites représentant les variations du trait de côte sont dispersés au sein des systèmes côtiers étudiés. De même, les contraintes associées aux variations du trait de côte sont caractérisées par de forts degrés de dispersion.

Pour les systèmes dunes-plages, les secteurs caractérisés par un recul ou une progression du front dunaire sont dispersés sur l'ensemble des linéaires côtiers étudiés. La distribution spatiale des sites en érosion et en accrétion n'enregistre pas de fortes variabilités d'un pas de temps à l'autre, excepté sur la Presqu'île de Rhuys. De même, les secteurs soumis à une augmentation des pressions anthropiques sont largement dispersés au sein des différents systèmes dunes-plage. Ils ne semblent pas spatialement associés à un type morphologique ou des comportements géomorphologiques (érosion – accrétion) spécifiques. L'augmentation des surfaces bâties est toutefois souvent davantage centrée autour des principaux bourgs et ports touristiques.

Pour les systèmes de falaises, la plupart des données attributaires cartographiées sont dispersées. Sur la presqu'île de Quiberon, la répartition spatiale des types de falaises et de couverts végétaux permet toutefois de mettre en évidence des similitudes entre la distribution des falaises rocheuses de type 4 et l'absence de couverture végétale au sommet des falaises. Ces deux attributs sont concentrés dans le centre de la presqu'île. Dans le Golfe du Morbihan, la localisation des falaises meubles de type 3 s'individualise nettement des autres données cartographiées. Ces falaises ne sont toutefois pas associées à des types de couvert végétal ou des pressions anthropiques spécifiques.

Ce premier niveau d'analyse spatiale révèle ainsi que les différentes contraintes associées à l'évolution du trait de côte sont caractérisées par une répartition spatiale relativement ubiquiste au sein de chacun des systèmes côtiers étudiés. A ce stade de l'analyse, la forte dispersion des sites en érosion, des sites en accrétion et des contraintes associées aux mouvements du trait de côte ne permet pas d'identifier des secteurs où serait concentrée l'action d'un type spécifique de contraintes. En raison de la forte imbrication spatiale des sites caractérisés par des évolutions et des contraintes différentes, aucun espace défini par un mode de comportement géomorphologique spécifique n'est identifié. La complexité de ces agencements spatiaux traduit la complexité des systèmes côtiers étudiés. Afin d'expliquer les variations du trait de côte et la répartition spatiale des sites étudiés, d'autres analyses ont été effectuées.



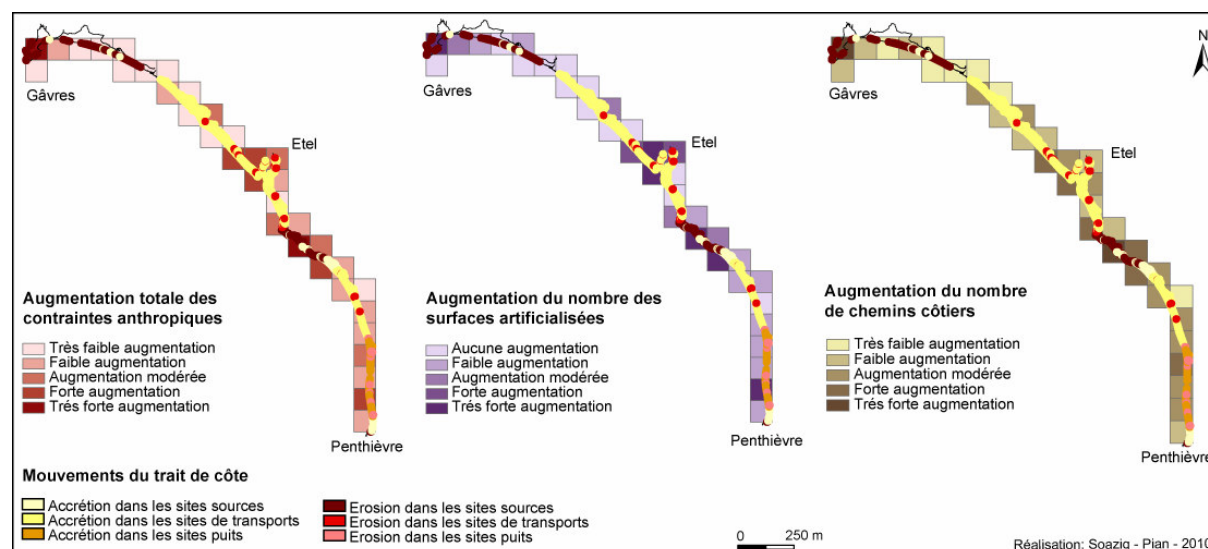
### II.2.2. Résultats et interprétation de l'analyse des relations de voisinage

Les résultats précédents suggèrent une distribution relativement homogène des différentes contraintes associées aux variations du trait de côte et ne permettent pas de différencier des espaces où les variations du trait de côte sont associées à la prédominance d'une contrainte sur l'autre. Les résultats précédents sont issus d'une analyse effectuée uniquement à l'échelle de chaque système côtier. De manière à affiner la compréhension des logiques expliquant la répartition spatiale des sites en érosion et en accrétion, l'analyse a ensuite cherché à étudier les relations de proximité (ou les relations de voisinages) entre les concentrations, sur différents niveaux scalaires, des variables analysées. La méthodologie mise en place pour effectuer cette analyse a été présentée dans le chapitre 4 (II). Au sein des systèmes dunes-plages, elle consiste à mettre en relation la répartition des sites en érosion et en accrétion à l'échelle du système côtier (niveau scalaire 1) avec la position des sites au sein des cellules sédimentaires (niveau scalaire 2) et les différentes concentrations des contraintes anthropiques, obtenues à l'échelle des mailles utilisées pour les cartographier (niveau scalaire 3). Au sein des systèmes de falaises, la distribution des différentes classes de recul, à l'échelle du système côtier (niveau scalaire 1), est mise en relation avec la distribution des contraintes naturelles et anthropiques obtenues à partir des mailles (niveau scalaire 2). Ces analyses ont permis la création d'un ensemble de cartes analytiques superposant l'information contenue à chaque niveau scalaire. Cette section se propose de présenter, par secteurs, les différents résultats mis en évidence par ces cartes.

#### **II.2.2.a) Le massif dunaire Gâvres-Penthièvre**

Entre 1952 et 2004, les sites concernés par un recul du front dunaire sont surreprésentés dans les sites sources. A l'inverse, les sites en accrétion sont surreprésentés dans les sites de transits et les sites puits. La pointe de Gâvres au Nord, le centre du massif dunaire, au Sud de la Ria d'Etel, et le Sud du massif sont caractérisés par de fortes densités de polygones associés à une augmentation des surfaces bâties et du nombre de chemins côtiers (Carte II.20). A l'exception de la pointe de Gâvres qui s'apparente à un site source, ces secteurs correspondent globalement à des sites de transport et des sites puits. Dans les sites de transports et les sites puits, les plus fortes concentrations de sites marqués par un recul du trait de côte sont situées à proximité des secteurs marqués par une concentration très forte à modérée de polygones associés à une augmentation des contraintes anthropiques (Carte II.20). Dans les sites de transports, ces contraintes anthropiques correspondent autant à une augmentation des surfaces artificialisées qu'à une implantation de chemins côtiers. Dans les sites puits, les poches d'érosion sont situées à proximité des secteurs concernés par une augmentation forte à modérée des chemins côtiers (Carte II.20).

Dans les sites sources, les fortes concentrations des polygones associés à une augmentation forte des pressions anthropiques, quelque soit leur nature, sont également en recul (Carte II.20).



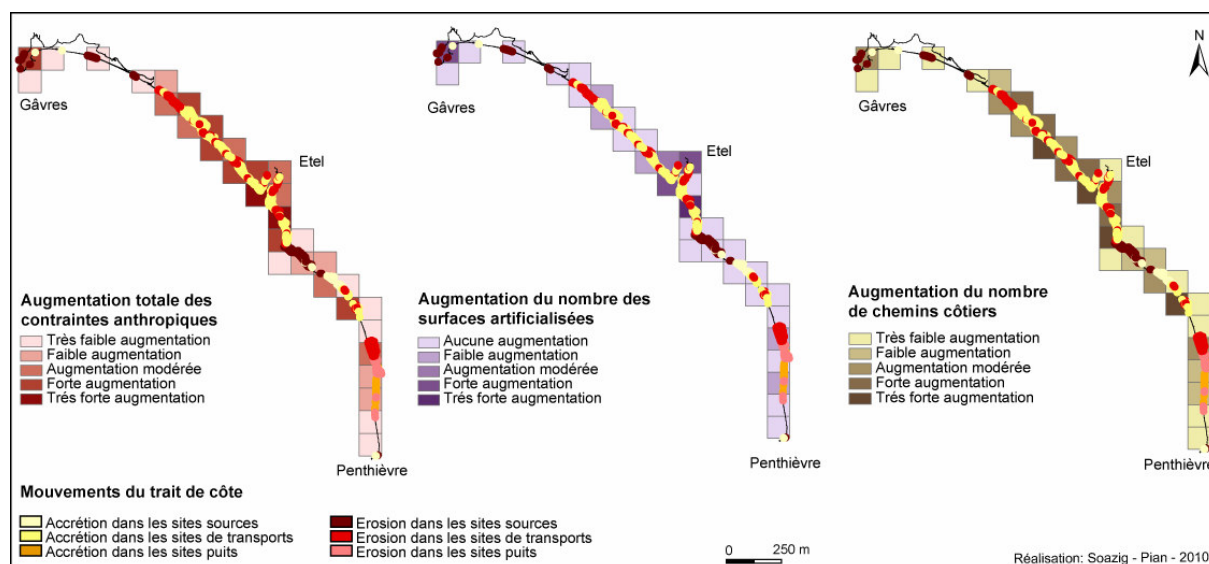
*Carte II.20 : Analyse des relations de voisinages entre la distribution spatiale des contraintes anthropiques et naturelles associées aux variations du trait de côte au sein du massif dunaire entre 1952 et 2004*

Entre 1952 et 1984, les sites en érosion sont situés aussi bien dans les sites sources, dans les sites de transits que dans les sites puits. Les sites marqués par une avancée du front dunaire sont sur représentés dans les sites de transits et les sites puits. La répartition spatiale des polygones associés à une augmentation des pressions anthropiques est proche de celle observée sur les pas de temps précédents, avec des concentrations plus importantes sur la pointe de Gâvres, dans le centre, mais cette fois au Nord de la ria d'Etel, et dans le Sud du massif dunaire (Carte III.21). Dans ces secteurs, l'évolution du trait de côte est marquée par un recul du sommet des falaises de Gâvres dans les sites sources, des mouvements d'érosion et d'accrétion dans les sites de transport, et un recul du front dunaire dans les sites puits, localisés au Sud du massif dunaire. A Gâvres, l'augmentation des pressions anthropiques est essentiellement caractérisée par une augmentation des surfaces artificialisées (Carte II.21). Dans le centre du massif dunaire, les secteurs marqués par des poches d'érosion plus nombreuses sont situés à proximité des secteurs concernés par une augmentation du nombre de chemins côtiers (Carte II.21).

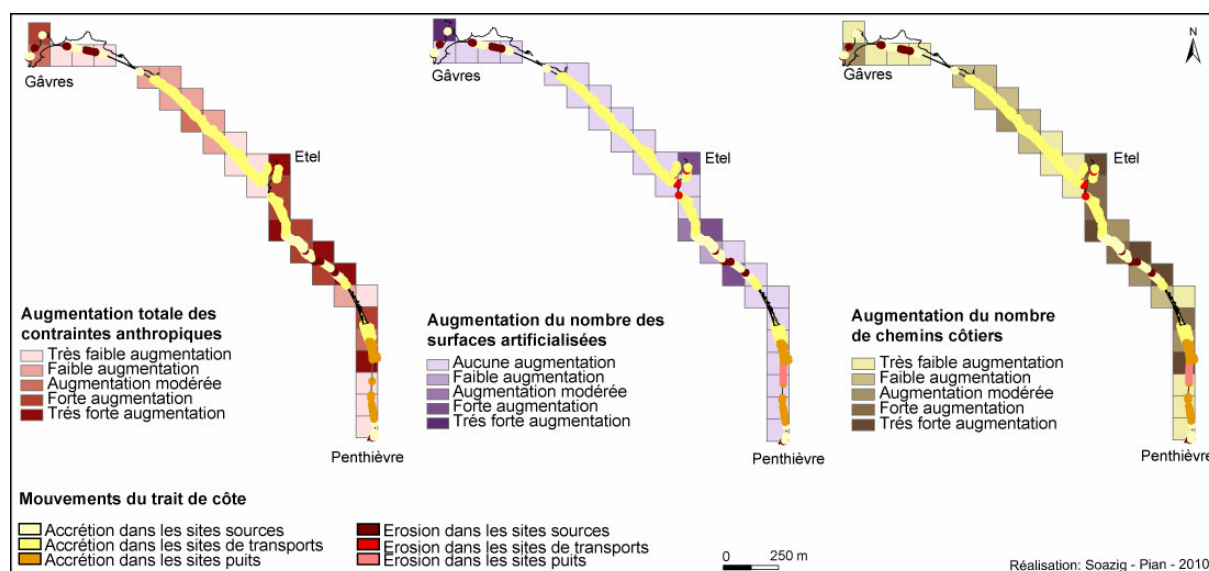
Entre 1985 et 1999, l'évolution du trait de côte est dominée par des processus d'accrétion. Les sites en érosion sont principalement situés dans les sites sources. Les sites en accrétion sont sur représentés dans les sites de transits et les sites puits. Les sites associés à une augmentation des surfaces artificialisées sont moins importants que sur les pas de temps précédents (Carte II.22). Les secteurs les plus concernés par l'augmentation des contraintes anthropiques sont toujours situés dans le centre et le

Sud du massif dunaire (Carte II.22).

Ces contraintes sont principalement constituées par une augmentation du nombre de chemins côtiers. Dans les sites de transport et les sites puits, les sites en accrétion sont sur représentés. Des poches d'érosion sont toutefois visibles à proximité des fortes concentrations d'augmentation du nombre de chemins côtiers (Carte II.22).



Carte II.21 : Analyse des relations de voisinages entre la distribution spatiale des contraintes anthropiques et naturelles associées aux variations du trait de côte au sein du massif dunaire entre 1952 et 1984



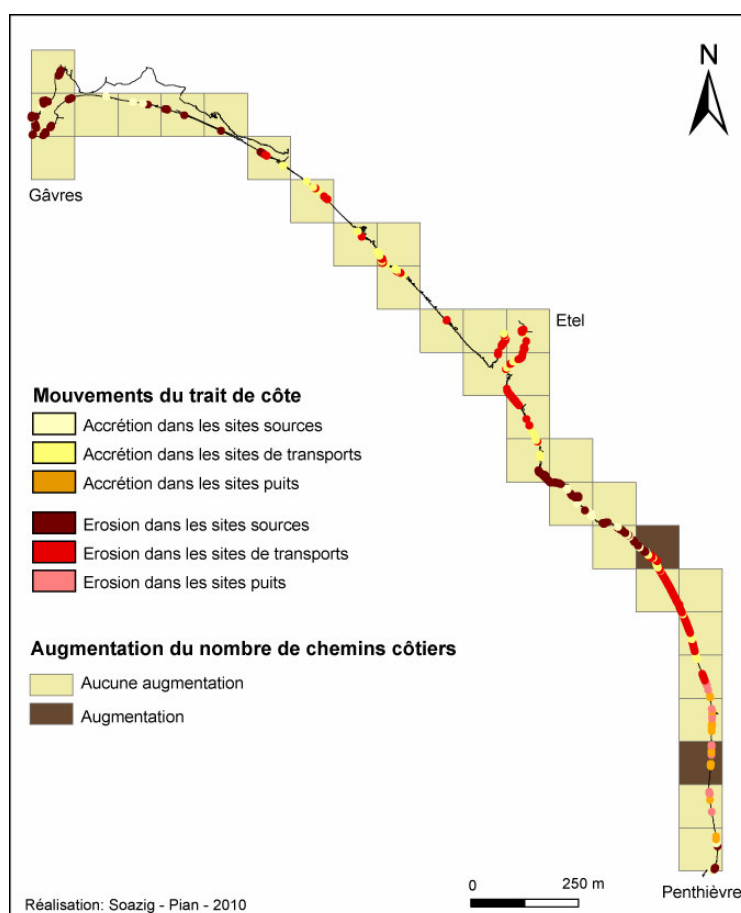
Carte II.22 : Analyse des relations de voisinages entre la distribution spatiale des contraintes anthropiques et naturelles associées aux variations du trait de côte au sein du massif dunaire entre 1984 et 1999

Entre 1999 et 2000, l'évolution du trait de côte est dominée par des processus érosifs. Les sites marqués par un recul du front dunaire sont situés aussi bien dans les sites sources, les sites de transits

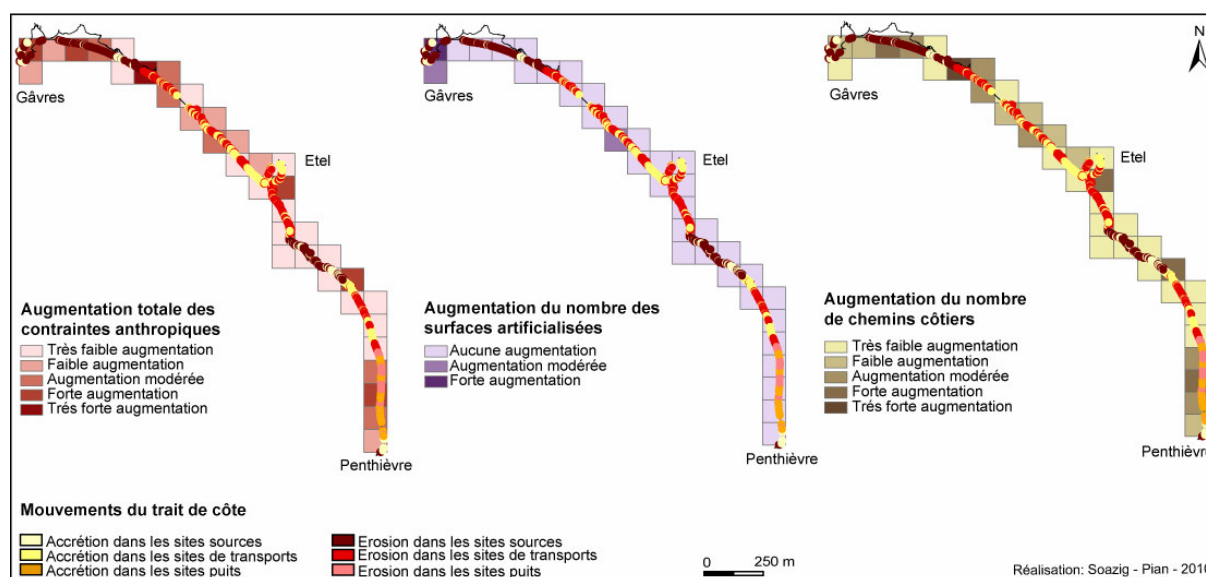
et les sites puits.

Les sites en accrétion sont mieux représentés dans les sites de transits et les sites puits. Dans ces espaces, les mouvements du trait de côte sont caractérisés par une alternance spatiale de sites en érosion et en accrétion. L'augmentation des contraintes anthropiques est peu importante (Carte II.23). Elle renvoie à la création de chemins côtiers et reste concentrée dans le sud du massif dunaire. Ces sites sont situés dans les sites de transports et les sites puits et enregistrent un recul du front dunaire.

Entre 2000 et 2004, les sites en érosion sont sur représentés sur l'ensemble du massif dunaire, quelque soit leur localisation au sein des cellules sédimentaires. Les sites en accrétion sont mieux représentés dans les sites de transits et les sites puits. L'augmentation des pressions anthropiques est concentrée au Nord du massif dunaire, à Etel, au Sud de Kerhillio et dans le Sud du massif dunaire (Carte II.24). Quelque soit leur localisation dans la cellule sédimentaire, ces sites sont tous caractérisés par un recul du front dunaire. A l'exception de la pointe de Gâvres, marquée par une augmentation des surfaces artificialisées sur cette période (Carte II.24), l'augmentation des contraintes anthropiques correspond à une augmentation du nombre de chemins côtiers (Carte II.24).



*Carte II.23 : Analyse des relations de voisinages entre la distribution spatiale des contraintes anthropiques et naturelles associées aux variations du trait de côte au sein du massif dunaire entre 1999 et 2000*



*Carte II.24 : Analyse des relations de voisinages entre la distribution spatiale des contraintes anthropiques et naturelles associées aux variations du trait de côte au sein du massif dunaire entre 2000 et 2004*

Au sein du massif dunaire, les différents mouvements du trait de côte (recul vs avancée) semblent être dépendants, d'une part de la position des sites au sein des cellules sédimentaires, et d'autre part, de la position des sites par rapport aux différentes concentrations d'augmentation de contraintes anthropiques répertoriées le long du linéaire côtier. Ces résultats suggèrent l'existence de plusieurs types de concomitance spatiale révélant différents modes de comportement géomorphologique au sein du système côtier.

Tout d'abord, la proportion des sites marqués par un recul est plus forte dans les sites sources, et sur certains pas de temps dans les sites de transports. A l'inverse, la proportion de sites marqués une progression du front dunaire est plus forte dans les sites puits, et selon les pas de temps dans les sites de transports. Ainsi, à l'échelle du massif dunaire, la distribution des sites en érosion et en accrétion semble être en partie expliquée par l'ensemble des contraintes morphologiques et des principaux schémas de transports sédimentaires contribuant à définir les limites des cellules sédimentaires.

De plus, à l'exception de la période 2000 – 2004 où les processus d'érosion dominant sur l'ensemble de la période, quelque soit la localisation des sites au sein des cellules sédimentaires, les secteurs caractérisés par une forte et dense augmentation des contraintes anthropiques sont souvent localisés à proximité des sites enregistrant un recul du trait de côte. Dans les sites de transports et les sites puits, les secteurs associés à une forte concentration de l'augmentation des chemins côtiers sont situés à proximité des poches d'érosion, marquant un recul local du front dunaire. Toutefois, la présence d'une

forte densité d'augmentation de contraintes anthropiques n'implique pas systématiquement un recul du trait de côte.

Ainsi, entre 1985 et 1999, l'augmentation du nombre de chemins côtiers dans les dunes situées dans les sites de transport est également associée à un mouvement de progradation du trait de côte (Carte II.22). Ces résultats révèlent un deuxième type de concomitance spatiale, opérant à une échelle plus fine. Au sein des différents types de sites composant les cellules sédimentaires (sites sources - sites de transports – sites puits), les secteurs associés à de fortes augmentations des surfaces artificialisées et/ou du nombre de chemins sont situés à proximité des fortes densités de sites marqués, soit par un recul, soit par une avancée du trait de côte, selon les pas de temps. Cette concomitance spatiale suggère l'existence d'une interaction entre les contraintes naturelles qui déterminent la répartition des sites en érosion et en accrétion au sein des cellules sédimentaires et des contraintes anthropiques qui favorisent, à une échelle plus fine, la concentration d'un certain type de mouvements du trait de côte.

### **II.2.2.b) La baie de Quiberon**

Entre 1952 et 2004, les sites en érosion sont bien représentés dans les sites sources et les sites de transits. Les sites en accrétion sont bien représentés dans les sites de transports et les sites puits. Les mouvements du trait de côte de la baie de Quiberon sont associés, quelque soit la localisation dans les cellules sédimentaires, à une forte augmentation des pressions anthropiques (carte II.25). La répartition spatiale des polygones associés à une augmentation des surfaces bâties et/ou du nombre de chemins côtiers est très dense et concerne l'ensemble du linéaire côtier étudié. D'une manière générale, ces fortes concentrations sont associées autant à des mouvements de recul que d'avancée du trait de côte. Elles concernent autant l'augmentation des surfaces artificialisées (Carte II.25) que l'implantation de nouveaux chemins côtiers (Carte II.25). Toutefois, dans les sites de transports et les sites puits, les secteurs marqués par un recul du front dunaire ou du sommet des falaises meubles sont situés à proximité des plus fortes concentrations des augmentations des contraintes anthropiques.

Entre 1952 et 1985, les sites en érosion sont bien représentés dans les sites sources et les sites de transits. Les sites en accrétion sont bien représentés dans les sites de transports et les sites puits. Sur ce pas de temps, les secteurs caractérisés par une augmentation forte à modérée des contraintes anthropiques sont concentrés dans des secteurs plus localisés, par exemple au centre de la baie à Carnac, au niveau de Penthievre, de la flèche de Pen er Lé ou des falaises ou sur la pointe du Petit Mont. (Carte II.26). Hormis au centre de la baie et au Sud de la flèche de Pen er Lè, où le trait de côte prograde sur la période étudiée, ces fortes concentrations sont associées à des mouvements de recul du trait de côte. En effet, les sites en érosion et situés dans les sites de transports ou les sites puits, à l'exception de la baie de Plouharnel, sont localisés à proximité de ces fortes concentrations. A Carnac

et à Penthievre, elles correspondent à une forte augmentation des surfaces artificialisées (Carte II.26).

Ailleurs, au centre de la baie, elles correspondent davantage à une augmentation du nombre de chemins côtiers (Carte II.26). Au sein de la baie de Plouharnel, le recul des surfaces couvertes par les schorres s'effectue dans les sites puits sans contiguïté avec les fortes densités d'augmentation des contraintes anthropiques.

Entre 1985 et 2004, l'évolution du trait de côte est dominée par des processus érosifs. Les sites en érosion sont bien représentés dans les sites sources et les sites de transits. Les sites en accrétion sont bien représentés dans les sites de transports et les sites puits. L'augmentation des contraintes anthropiques est moins dense et moins forte que celle observée sur le pas de temps précédent (carte II.27). Elle est essentiellement concentrée au centre de la baie et au Sud de la flèche de Pen Er Lè. Une grande partie des sites enregistrant un recul du trait de côte est située à proximité des espaces où est concentrée l'augmentation des surfaces artificialisées (Carte II.27). C'est notamment le cas au niveau des plages de Carnac où les polygones localisés dans les sites puits enregistrent un recul du trait de côte. Au niveau des rias, l'implantation de nouveaux chemins côtiers est également associée à des mouvements de recul. Toutefois, sur la façade Est de la baie, les fortes concentrations de nouveaux chemins côtiers sont associées autant à des logiques d'érosion que des logiques d'accrétion.

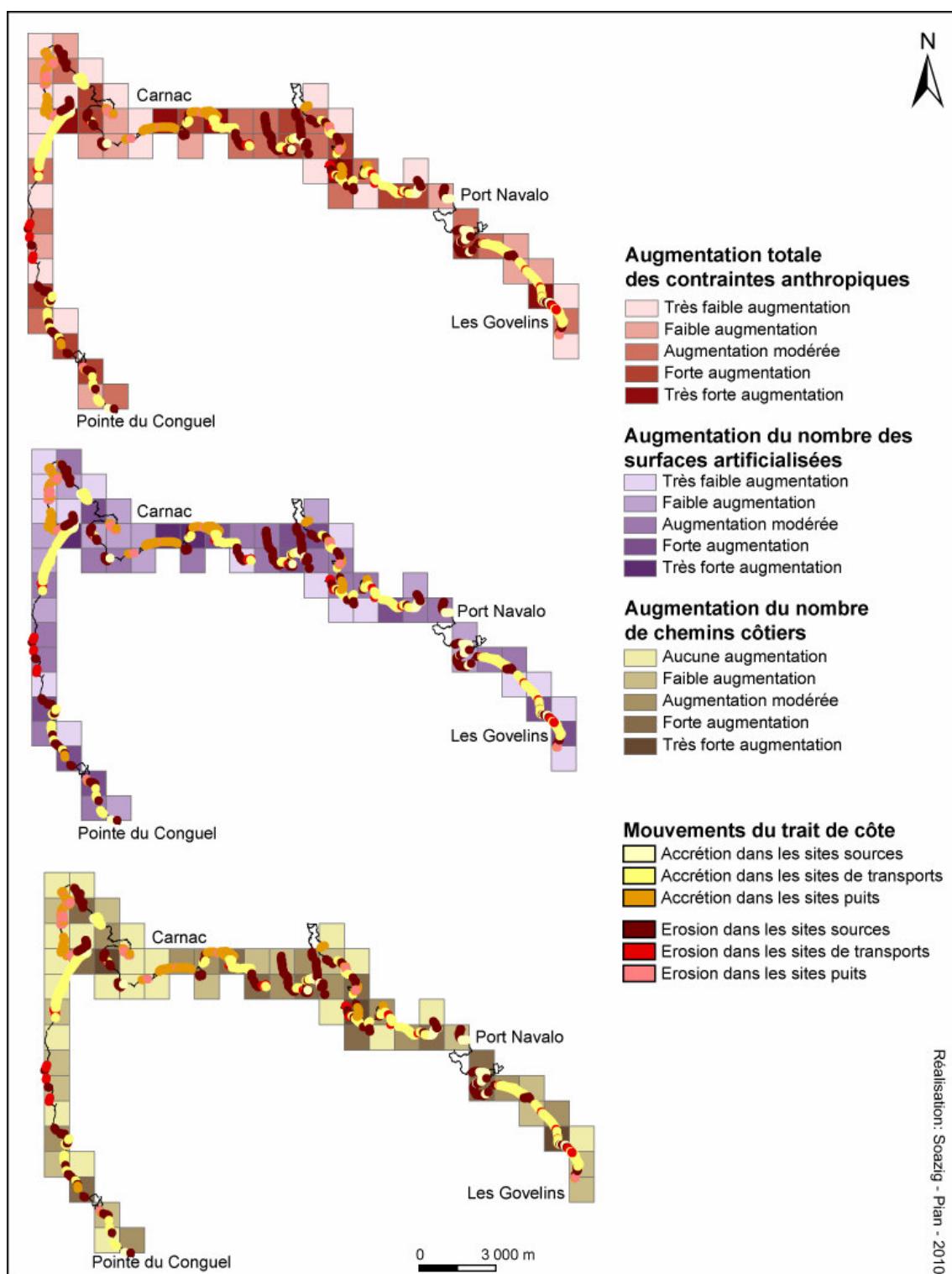
A partir de ces résultats, plusieurs observations peuvent être discutées. Tout d'abord, les mouvements du trait de côte en Baie de Quiberon sont associés à d'importantes augmentations des contraintes anthropiques, concernant l'ensemble du linéaire côtier étudié, quelque soit sa localisation dans les cellules sédimentaires. Ce premier point traduit la forte anthropisation de l'espace littoral observée depuis les années 1950.

Ensuite, la distribution des sites enregistrant un recul ou une avancée du trait de côte semble dépendre, selon les pas de temps, de la position des sites étudiés au sein des cellules sédimentaires, mais également, dans une moindre mesure, de la distribution spatiale de l'augmentation des contraintes anthropiques. Sur chacun des pas de temps étudiés, les sites caractérisés par de fortes et denses augmentations des pressions anthropiques sont fréquemment localisés à proximité de sites enregistrant un recul du trait de côte. Toutefois cette relation n'est pas systématique, certains sites reculent tout en étant situés à proximité des plus faibles densités d'augmentation de surfaces artificialisées et/ou de chemins alors que d'autres enregistrent une avancée du trait de côte dans les secteurs où la concentration des contraintes anthropiques augmente fortement. Ce second point souligne l'existence d'un type de concomitance spatiale, opérant sur deux niveaux scalaires. A l'échelle du système côtier, la répartition des sites en érosion et en accrétion est avant tout expliquée par les transports sédimentaires opérant au sein des cellules sédimentaires. La surreprésentation des sites marqués par un



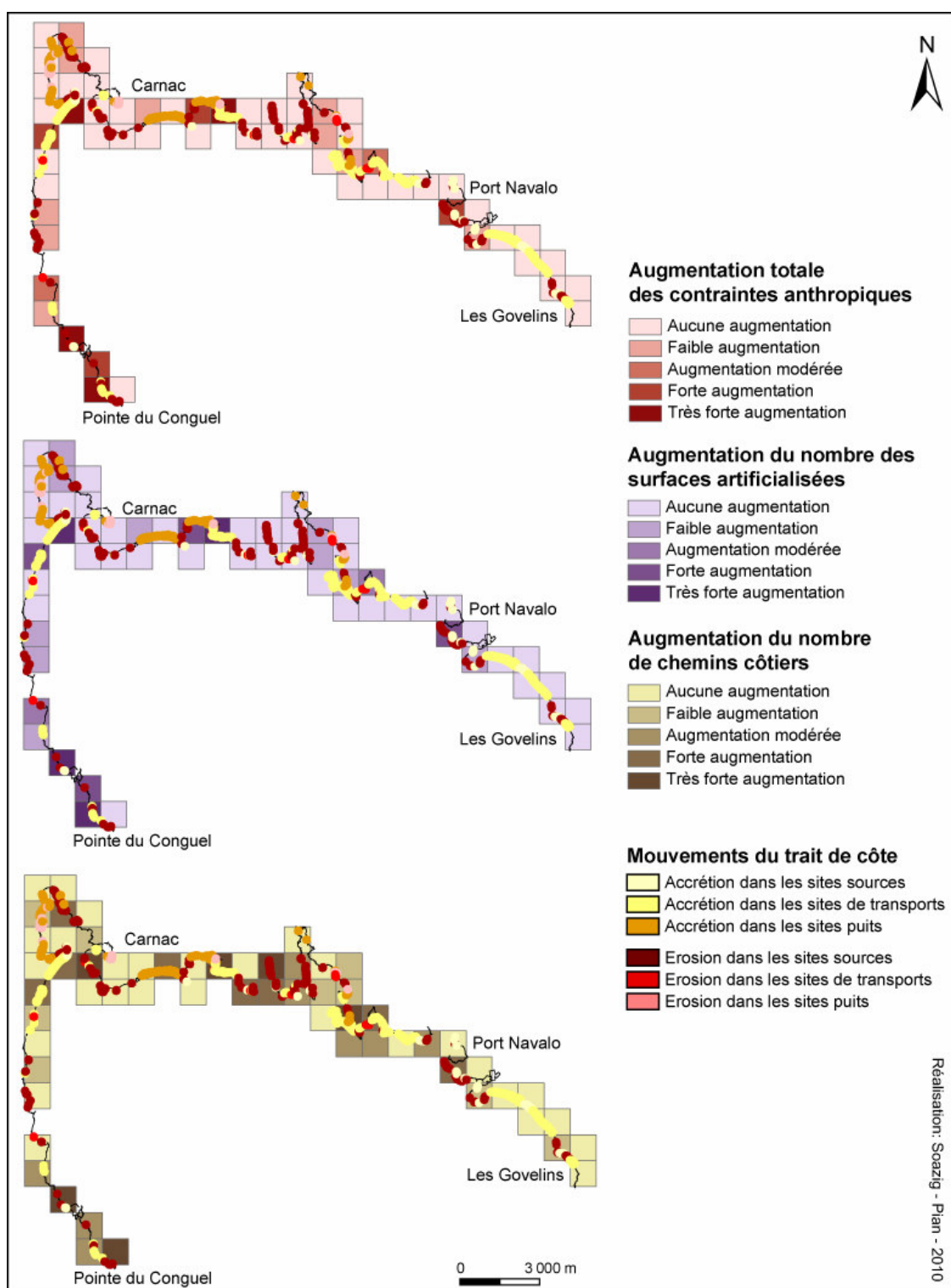
recul ou une avancée du front dunaire en fonction de leur position par rapport aux courants de dérive littorale traduit la variabilité des mouvements du trait de côte, décrite dans la section précédente (I).

A une échelle plus fine, la répartition des densités des surfaces artificialisées et de l'implantation des chemins côtiers participe à définir des espaces marqués par une concentration plus forte de sites en recul excepté sur le pas de temps 1985-1999.

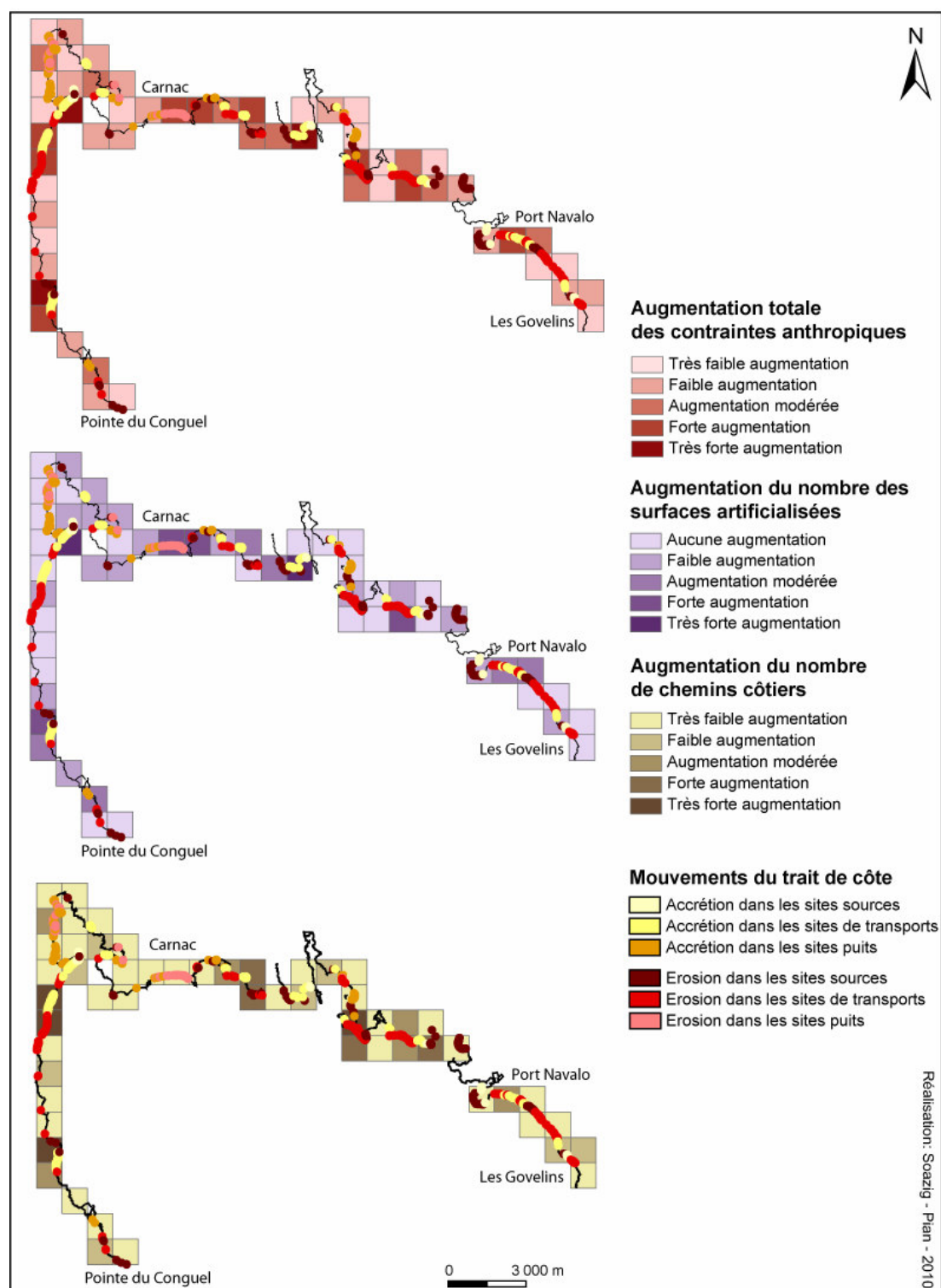


Carte II.25 : Analyse des relations de voisinages entre la distribution spatiale des contraintes anthropiques et naturelles associées aux variations du trait de côte au sein de la baie de Quiberon entre 1952 et 2004





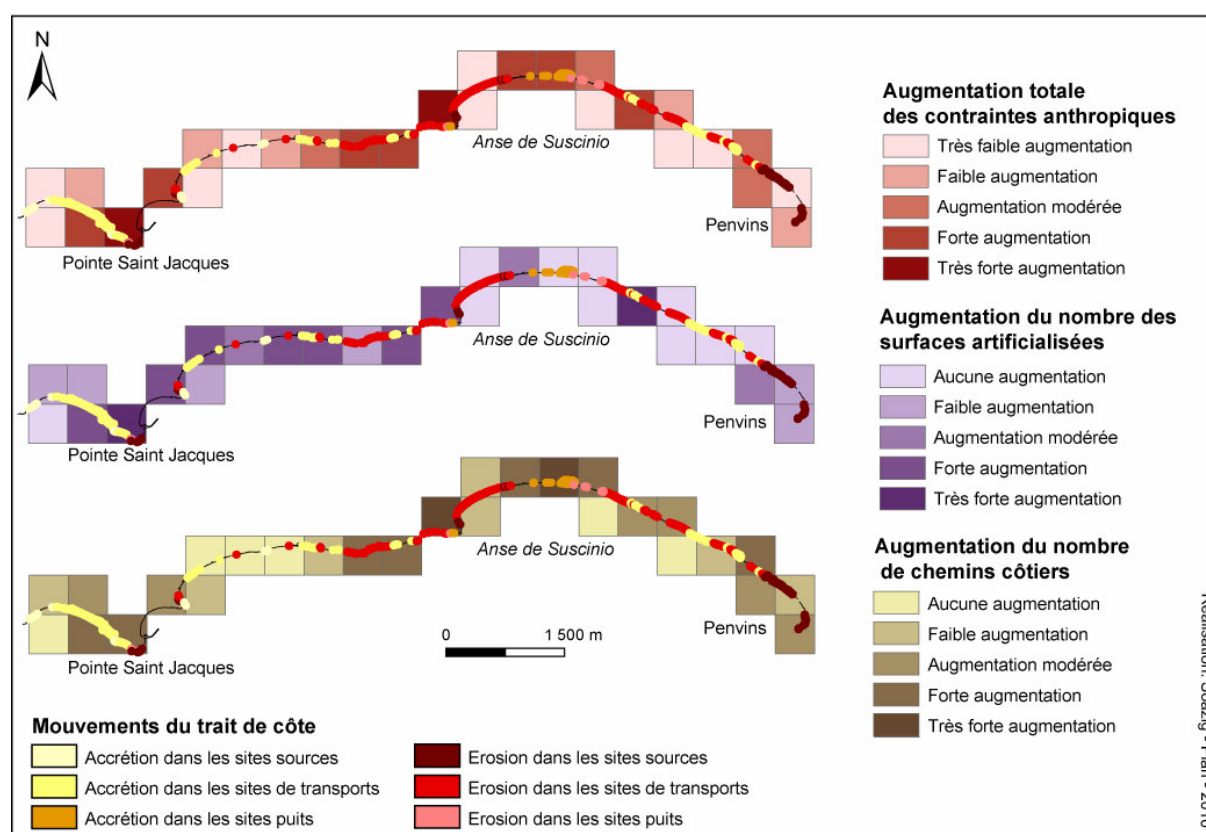
Carte II.26 : Analyse des relations de voisinages entre la distribution spatiale des contraintes anthropiques et naturelles associées aux variations du trait de côte au sein de la baie de Quiberon entre 1952 et 1985



Carte II.27 : Analyse des relations de voisinages entre la distribution spatiale des contraintes anthropiques et naturelles associées aux variations du trait de côte au sein de la baie de Quiberon entre 1985 et 2004

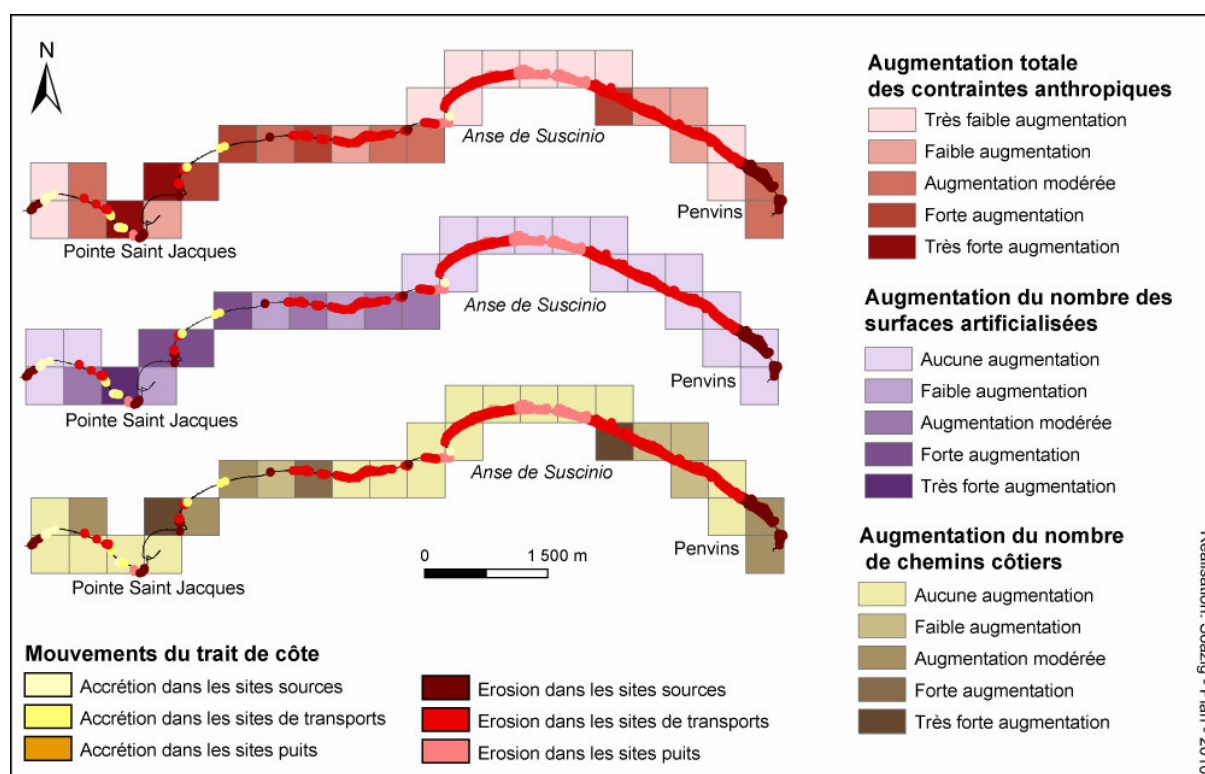
### II.2.2.c) La presqu'île de Rhuys

Entre 1952 et 2004, les sites en érosion sont bien représentés sur l'ensemble du secteur, quelque soit leur localisation au sein des cellules sédimentaires. Les sites en accrétion sont bien représentés dans les sites de transits et les sites puits. Les mouvements du trait de côte, en presqu'île de Rhuys, sont associés à une forte augmentation des contraintes anthropiques, quelque soit la localisation dans la cellule sédimentaire et le type de mouvement du trait de côte (érosion/accrétion) (carte II.28). Toutefois, dans les secteurs où les pressions anthropiques sont très denses et associent à la fois une augmentation des surfaces bâties et du nombre de chemins côtiers, les sites en recul sont sur représentés (Carte II.28) excepté au niveau des plages de Saint Jacques. Ces contraintes anthropiques correspondent à une augmentation des surfaces artificialisées (Carte II.28) et du nombre de chemins côtiers (Carte II.28). Les sites situés à proximité des secteurs associés à de fortes concentrations d'augmentation des surfaces artificialisées sont caractérisés aussi bien par un recul qu'une avancée du trait de côte (Carte II.28). A l'inverse, les sites situés à proximité des secteurs marqués par une forte concentration de nouveaux chemins côtiers enregistrent un recul du trait de côte, notamment au sein des sites puits (Carte II.28), comme par exemple au sein de l'anse de Susicinio.



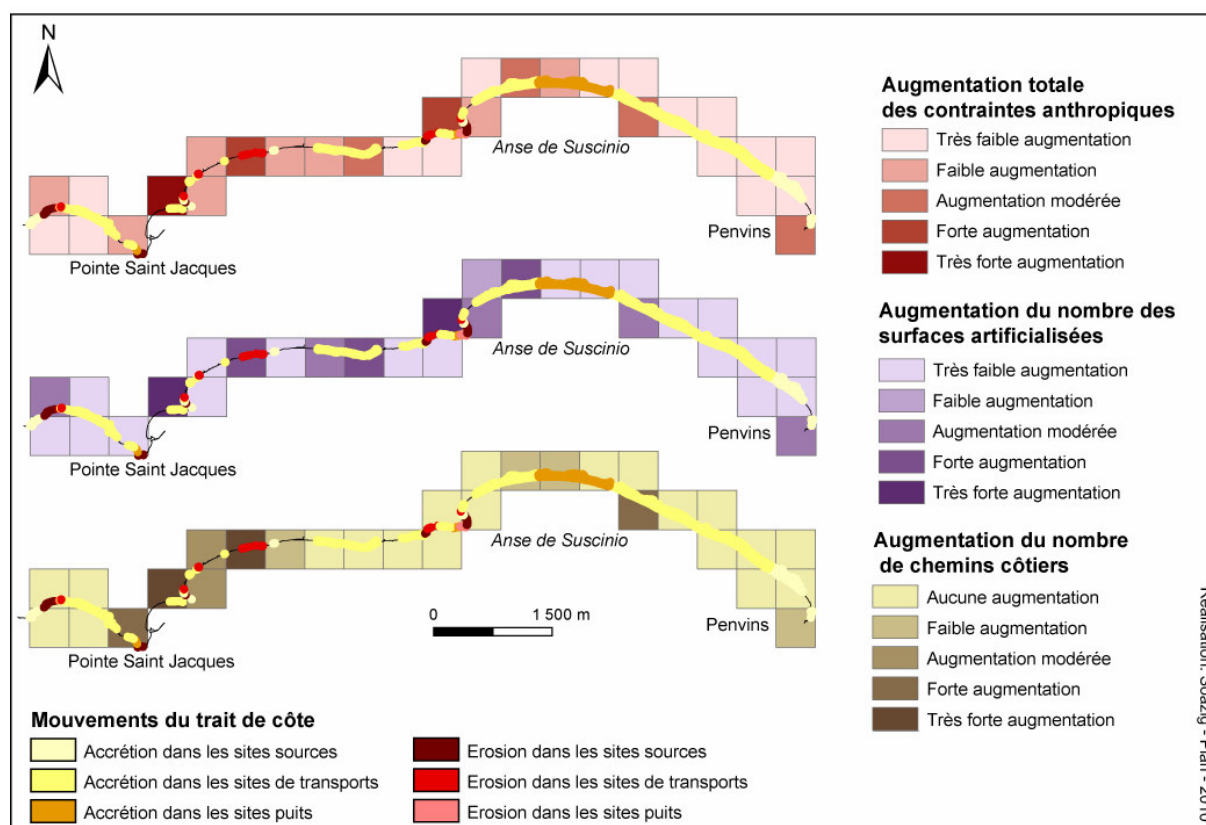
Carte II.28 : Analyse des relations de voisinages entre la distribution spatiale des contraintes anthropiques et naturelles associées aux variations du trait de côte de la presqu'île de Rhuys entre 1952 et 2004.

Entre 1952 et 1985, les sites en érosion sont majoritaires à la fois dans les sites sources, de transits et les sites puits. L'augmentation des pressions anthropiques est moins importante et concentrée à l'Ouest de la presqu'île où elle est associée à des mouvements de recul du trait de côte (carte II.29). Cette augmentation des contraintes anthropiques concerne les surfaces artificialisées, fortement concentrées à l'Ouest (Carte II.29), et le nombre de chemins côtiers, concentrés à l'Ouest mais également dans des secteurs très localisés, situés à l'Est de l'anse de Susicinio (Carte II.29). Toutefois, sur ce pas de temps, les processus d'érosion concernent quasiment l'ensemble du linéaire côtier, quelque soit le degré d'anthropisation des sites étudiés ou leur localisation dans les cellules sédimentaires.



Carte II.29 : Analyse des relations de voisinages entre la distribution spatiale des contraintes anthropiques et naturelles associées aux variations du trait de côte de la presqu'île de Rhuy entre 1952 et 1985

Entre 1985 et 1999, les sites en accrétion sont majoritaires à la fois dans les sites sources, de transits et les sites puits. Seules les pointes rocheuses sont clairement en érosion. Les concentrations fortes et très fortes de polygones associés à une augmentation des contraintes anthropiques sont situées à l'Ouest de la pointe de Beg Lann et dans l'anse de Susicinio (Carte II.30). Au niveau de Beg Lann et de Susicinio, ces contraintes anthropiques correspondent à une augmentation des surfaces artificialisées. Ces secteurs sont caractérisés par une érosion du front dunaire et correspondent à des sites de transport sédimentaire ou des sites puits. A l'Ouest, l'implantation de chemins côtiers est associée à des mouvements d'érosion (Carte II.30). En outre, au niveau de la pointe de Penvins, l'artificialisation des sites sources est associée à une progradation du front de dune (carte III.30).

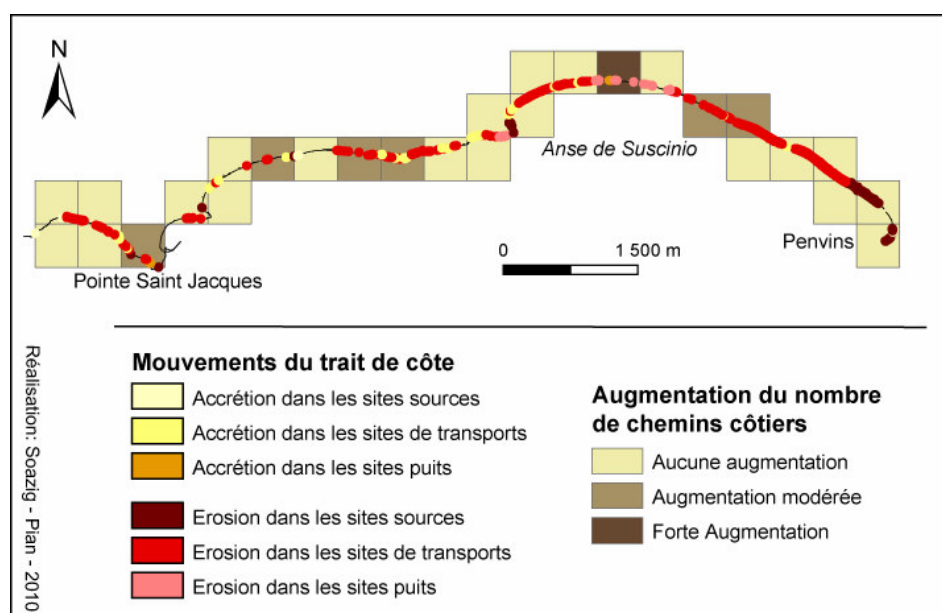


Carte II.30 : Analyse des relations de voisinages entre la distribution spatiale des contraintes anthropiques et naturelles associées aux variations du trait de côte de la presqu'île de Rhuys entre 1985 et 1999

Entre 1999 et 2004, les sites en érosion sont bien représentés sur l'ensemble du secteur, quelque soit leur localisation dans les cellules sédimentaires. Les sites en accrétion sont bien représentés dans les sites de transit. L'augmentation des pressions anthropiques est moins dense et moins importante que sur les pas de temps précédents. Elle se traduit essentiellement par la mise en place de chemins côtiers. A proximité de ces chemins, l'évolution du trait de côte est caractérisée par un recul du sommet des falaises ou du front dunaire, qui concerne par ailleurs une large part du linéaire côtier étudié, quelque soit sa localisation dans les cellules sédimentaires (carte II.31).

A l'inverse des deux premiers systèmes côtiers étudiés, l'ensemble des cartes présentées et discutées dans cette section ne permet pas d'identifier clairement des associations spatiales entre l'évolution des sites sur un pas de temps et les concentrations des contraintes naturelles et anthropiques qui leur sont associées. Sur les pas de temps intermédiaires, la localisation des sites enregistrant un recul ou une avancée du trait de côte ne semble pas être déterminée par leur position au sein des cellules sédimentaires.



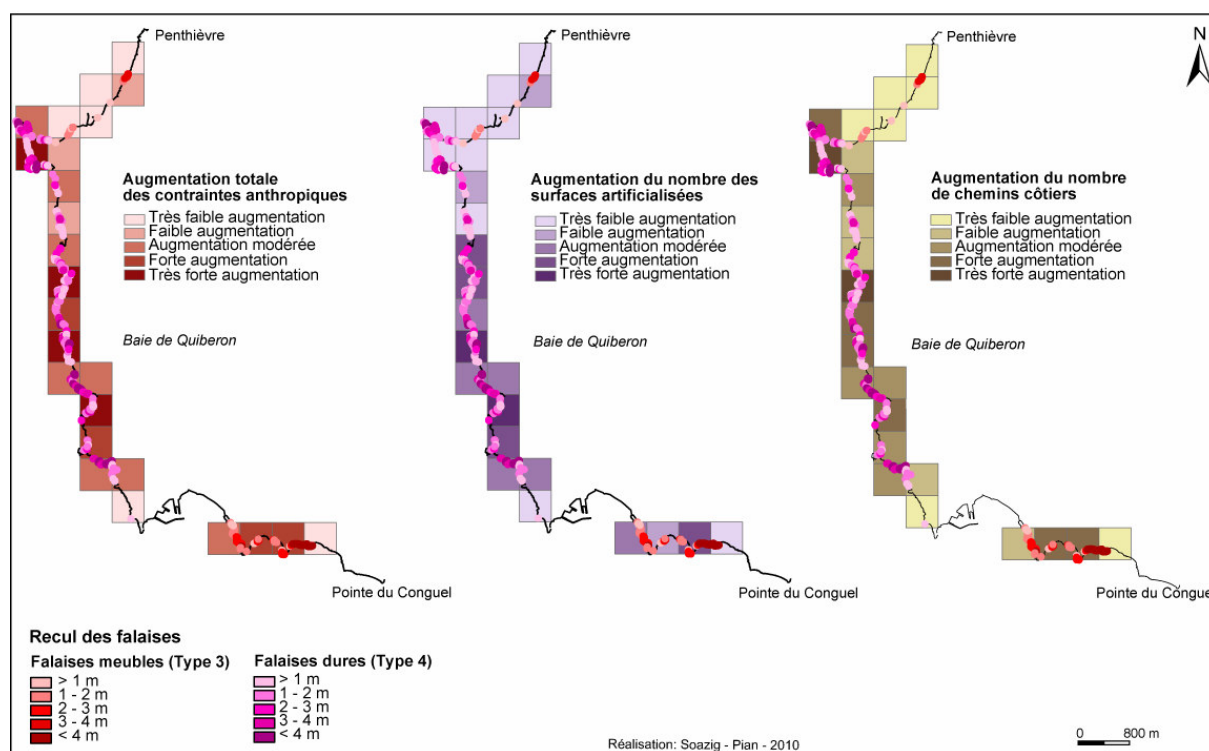


*Carte II.31 : Analyse des relations de voisinages entre la distribution spatiale des contraintes anthropiques et naturelles associées aux variations du trait de côte de la presqu'île de Rhuys entre 1999 et 2004*

Elle traduit davantage la forte variabilité spatio-temporelle des mouvements du trait de côte, cartographiée dans la section précédente (I) et mise en évidence par les premières analyses spatiales. De même, il est difficile d'établir clairement le rôle des contraintes anthropiques. Les secteurs caractérisés par de plus denses augmentations des facteurs anthropiques sont associés à des mouvements de recul du trait de côte, notamment dans les sites de transport et les sites sources. Toutefois, les relations spatiales entre l'augmentation de ces pressions anthropiques et les phénomènes d'érosion et d'accrétion ne sont pas clairement établies sur tous les pas de temps étudiés, et notamment entre 1952-1985 et 1999-2004. Au sein des plages de la presqu'île de Rhuys, les analyses effectuées ne permettent pas d'identifier des modes de comportements géomorphologiques expliquant la répartition spatiale des sites en érosion et en accrétion sur différents niveaux scalaires. La complexité du système littoral, suggérée par les premières analyses spatiales, est renforcée par ces analyses. L'ensemble des résultats conduit à suggérer l'hypothèse que les variables retenues pour expliquer l'évolution du trait de côte, ne permettent pas, dans ce secteur, d'appréhender la complexité du comportement du système côtier, qui se traduit, sur les long et moyen termes, par une forte variabilité spatio-temporelle des mouvements du trait de côte.

### II.2.2.d) La presqu'île de Quiberon

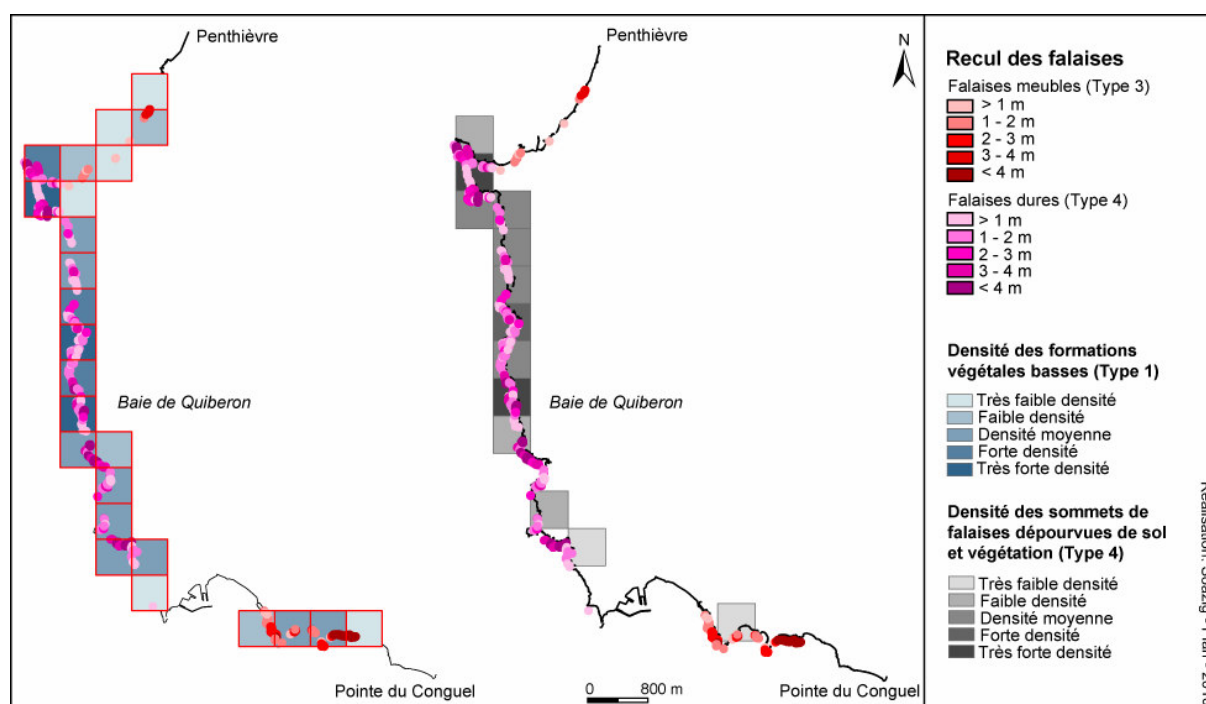
Entre 1952 et 2004, les reculs les plus importants supérieurs à 3m concernent principalement les falaises meubles de type 3 ainsi que certains secteurs localisés des falaises rocheuses de type 4. Ces sites sont globalement exposés Ouest et Sud. Les reculs de moindre ampleur (< 1m) concernent majoritairement les falaises rocheuses meubles. Sur l'ensemble du pas de temps étudié, les contraintes anthropiques exercées sur le sommet des falaises augmentent fortement, et cette augmentation concerne l'ensemble du trait de côte étudié (Carte II.32). Seul le Nord de la presqu'île est concerné par une augmentation moins importante des pressions anthropiques. Ces contraintes anthropiques correspondent soit à une augmentation du nombre de chemins côtiers, soit à une augmentation des surfaces artificialisées. L'augmentation des surfaces artificialisées est plus importante vers le Sud de la presqu'île (Carte II.32). Elle est associée à toutes les vitesses de recul. Au sein des falaises rocheuses, les plus fortes concentrations de vitesse de recul élevée (> 3m) sont situées à proximité des secteurs caractérisés par une forte ou très forte augmentation du nombre de chemins côtiers (Carte II.32). Ces secteurs correspondent également à des sites où la roche est mise à nue (Carte II.33).



Carte II.32 : Analyse des relations de voisinages entre la distribution spatiale des contraintes anthropiques et les classes de recul des falaises de la façade Ouest de la presqu'île de Quiberon (1952 - 2004)

Au sein de ce système côtier, l'analyse des relations de voisinage permet de mettre en évidence différentes associations spatiales pouvant être associées à des modes de comportement géomorphologique expliquant l'évolution et le recul du sommet des falaises entre 1952 et 2004.

La distribution spatiale des différentes vitesses de recul caractérisant les sommets des falaises de la presqu'île parait liée au type de falaise étudié, renvoyant ainsi aux facteurs lithologiques contrôlant les processus d'érosion gravitaire. Par ailleurs, la localisation des fortes densités de l'augmentation des contraintes anthropiques semble pouvoir être mise en relation avec la localisation des vitesses les plus fortes de recul et certains types de couvert végétal. A l'échelle locale, la combinaison de contraintes naturelles et anthropiques semble ainsi contribuer à expliquer les répartitions spatiales des différentes vitesses de recul au sein d'un même type de falaise. La multiplication des chemins et l'absence de végétation sur le sommet des falaises rocheuses sont localisées dans les secteurs caractérisés par les plus fortes vitesses de recul. Cette association spatiale laisse suggérer que la l'absence de végétation sur le sommet des falaises et une forte anthropisation de l'espace pourrait favoriser la concentration des vitesses de recul les plus importantes. Ce dernier point souligne la forte imbrication des contraintes naturelles et anthropiques associées aux variations du trait de côte. En effet, l'évolution du couvert végétal sur le sommet des falaises est dépendante des pressions exercées lors du piétinement (*Gallet et Roze, 2001, French, 2001*). L'évolution de ces deux contraintes traduit de fortes interactions, contrôlant à leur tour l'évolution du sommet des falaises.



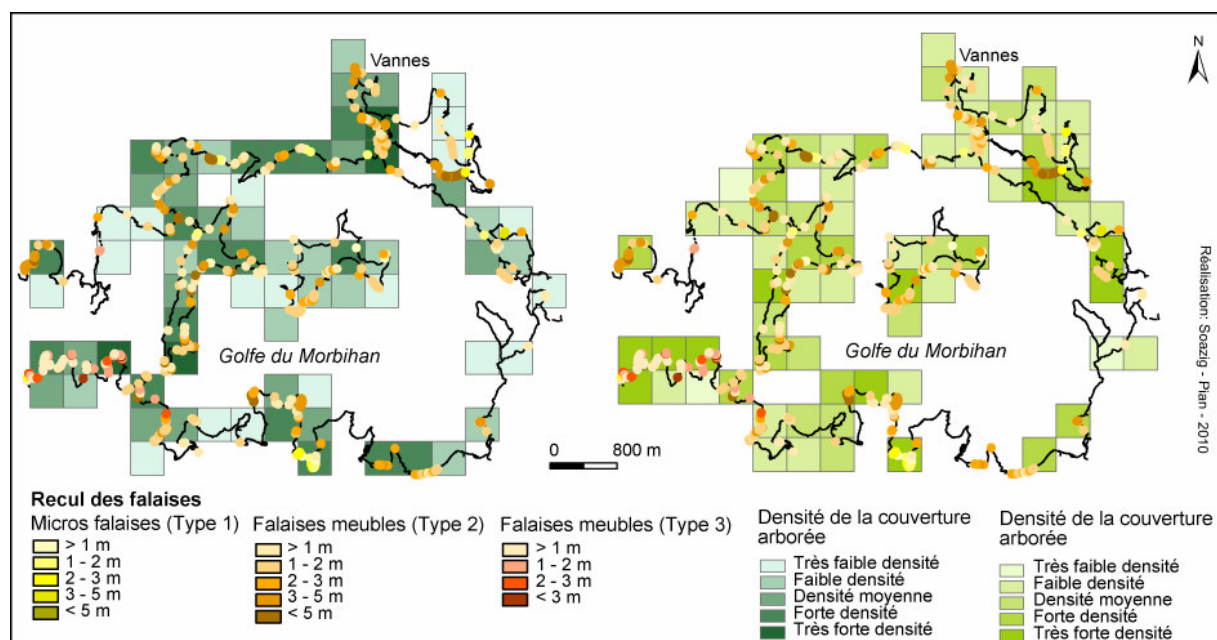
Carte II.33 : Analyse des relations de voisinages entre la distribution spatiale des contraintes naturelles et les classes de recul des falaises de la façade Ouest de la presqu'île de Quiberon (1952 - 2004)



### II.2.2.e) Le Golfe du Morbihan

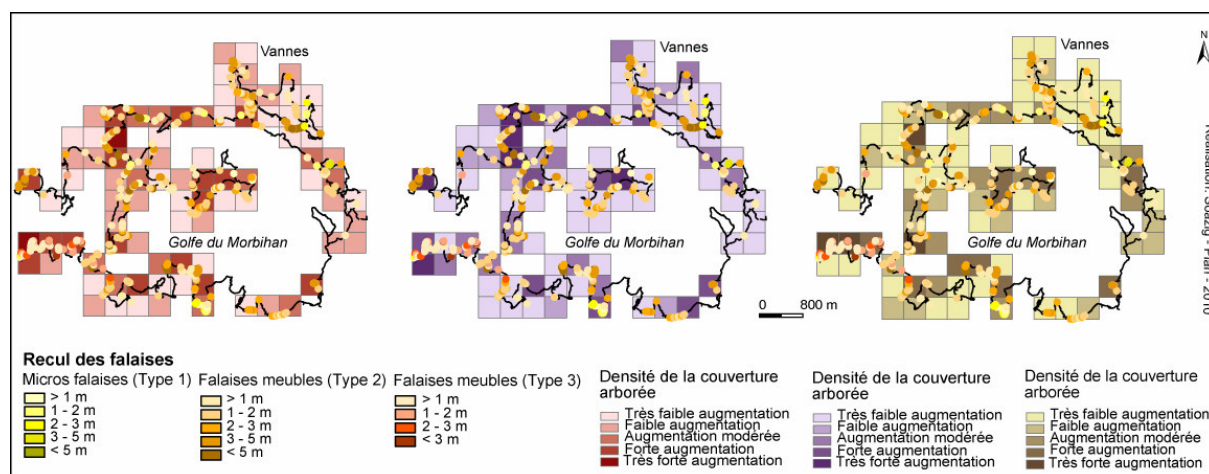
Au sein du Golfe du Morbihan, les ampleurs les plus importantes de recul ( $> 5$  m) concernent principalement les falaises meubles de type 2. Les reculs moins importants concernent tous les types de falaise. Le type de falaise semble ainsi contrôler, en partie, les différentes vitesses de recul observées. L'analyse s'est ensuite intéressée au type de couvert végétal établi sur le sommet des falaises et à la concentration des augmentations des contraintes anthropiques.

La carte II.34 met en relation les diverses ampleurs de recul des trois types de falaises présentes dans le Golfe avec la concentration de deux types de couvert végétal fréquemment établi sur le sommet des falaises : les couvertures arbustives/buissonnantes et les couvertures arborées. D'une manière générale, ces deux types de couvert végétal sont présents de manière quasiment ubiquiste sur tout le pourtour du Golfe. La présence des arbres est toutefois moins dense dans la partie la plus orientale. Dans les secteurs caractérisés par une forte densité de couvert végétal arboré sur le sommet des falaises, on observe une concentration plus grande des vitesses de recul plus importantes, notamment pour les falaises de types 2 (Carte II.34). Pour les falaises meubles de type 3, présentes à l'entrée du Golfe, cette relation n'est pas vérifiée (Carte II.34). A l'inverse, dans les secteurs caractérisés par de fortes densités de couvert végétal arbustif et/ou buissonnant établi sur le sommet des falaises, les reculs observés sur la période 1952-2004 sont moins importants (Carte II.34).



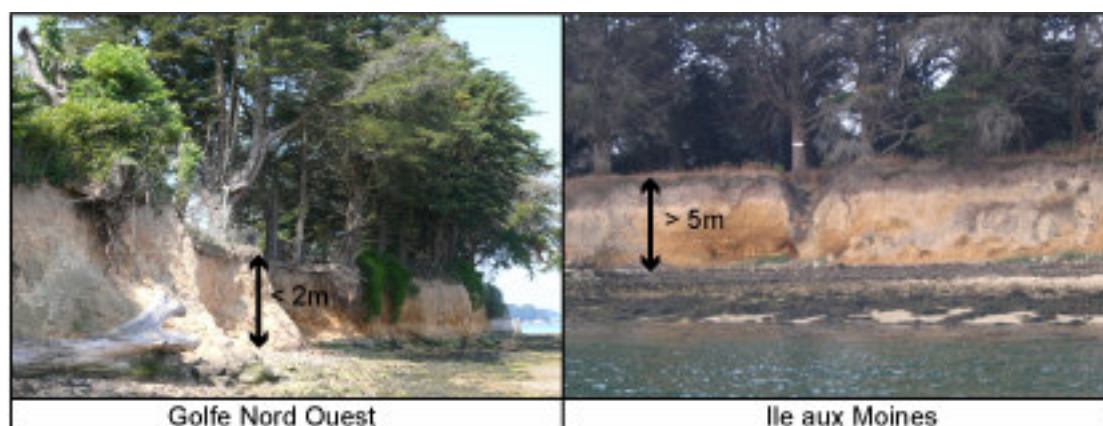
Carte II.34 : Analyse des relations de voisinages entre la distribution spatiale des contraintes naturelles et les classes de recul des falaises du Golfe du Morbihan (1952 - 2004)

La carte II.35 décrit la distribution spatiale et la densité de l'ensemble des contraintes anthropiques mises en place sur la période 1952 – 2004. D'une manière générale, elles sont concentrées au Sud-Ouest du Golfe, au Nord-Ouest du Golfe et sur l'île d'Arz. Les fortes concentrations d'augmentation des surfaces artificialisées sont plus importantes au Nord du Golfe et celles des chemins côtiers au Sud et à l'Est du Golfe. D'une manière générale, dans ces secteurs, quelque soit le type de falaises, toutes les différentes classes de recul sont bien représentées.



Carte II.35: Analyse des relations de voisinages entre la distribution spatiale des contraintes naturelles et les classes de recul des falaises du Golfe du Morbihan (1952 - 2004)

Au sein du Golfe du Morbihan, l'analyse des relations de voisinage permet d'identifier deux types d'associations spatiales entre le type de falaise, le type de couvert végétal établi sur le sommet des falaises et la localisation des différentes vitesses de recul. D'une manière générale, les reculs les moins importants sont localisés au sein des falaises meubles couvertes par une végétation buissonnante et arbustive. A l'inverse, les vitesses de recul les plus fortes sont localisées dans les secteurs où la densité du couvert végétal arboré est forte. La croissance du réseau de racines favorise la percolation des eaux de pluie le long d'itinéraires privilégiés dans le substratum et accentue ainsi, localement, les processus d'altération de la roche. Il en résulte une érosion accrue de la falaise. Par ailleurs, lorsque le recul de la falaise devient trop important, les arbres ne peuvent plus se maintenir sur le sommet des falaises. Ils s'affaissent alors, entraînant dans leur chute des monceaux de terre, accentuant davantage encore le recul de la falaise (Pian *et al.*, 2007). Ce processus correspond à une érosion par chablis.



*Photo II.1: Exemple du recul d'une falaise meuble par chablis dans le Golfe du Morbihan*

### Synthèse générale

L'analyse des relations de voisinage entre la localisation des facteurs susceptibles de contrôler les variations du trait de côte, leur concentration et la localisation des sites en érosion ou en accrétion a permis de mettre en évidence certaines associations spatiales entre les mouvements du trait de côte (érosion/accrétion) et les contraintes susceptibles d'expliquer ces mouvements. Outre les contraintes naturelles telles que la localisation dans la cellule sédimentaire ou le type de falaise, l'évolution du trait de côte est aussi fréquemment associée à des contraintes anthropiques: les fortes concentrations des pressions anthropiques sont généralement situées à proximité des sites en érosion, quelques soient les contraintes physiques qui contrôlent le mouvement de recul du trait de côte. Cette forme d'association spatiale est plus importante pour les systèmes dunes-plages, notamment dans le massif dunaire Gâvres-Penthièvre et en baie de Quiberon. Pour les systèmes à falaises du Golfe du Morbihan, la relation spatiale entre la densité des contraintes anthropiques et l'ampleur du recul n'est pas vérifiée. De plus, au sein des systèmes dunes-plages, une forte concentration des contraintes anthropiques, et notamment des chemins côtiers, n'implique pas systématiquement une forte concentration de sites en érosion. Sur certains pas de temps, la forte densité des chemins mise en place est associée à une concentration des sites marqués par une progradation du front dunaire.

L'observation de ces différentes associations spatiales laisse supposer l'existence d'une interaction entre les contraintes naturelles et anthropiques, basée sur les principes de causalité relationnelle, et expliquant, au moins partiellement, la répartition spatiale des sites en érosion et en accrétion au sein des systèmes côtiers à différentes échelles spatiales. D'une manière très schématique, la localisation des sites marqués par un recul ou une avancée du trait de côte, paraît à l'échelle des systèmes côtiers, expliquée par la distribution des contraintes naturelles (localisation au sein des cellules sédimentaires – type de falaises – type et état de la végétation).

A une échelle plus locale, les plus fortes concentrations de sites en érosion et les vitesses de recul les plus élevées sont fréquemment situées à proximité des plus fortes densités de contraintes anthropiques. Par ailleurs, l'exemple du recul des falaises de la presqu'île de Quiberon souligne que l'évolution de ces différentes contraintes peut être animée par des liens étroits.

Ainsi, ce second niveau d'analyse spatiale a permis d'explicitier, au moins partiellement, la complexité des systèmes côtiers étudiés en montrant que la répartition relativement ubiquiste des sites en érosion et en accrétion pourrait résulter d'au moins deux logiques différentes, opérant sur au moins deux niveaux scalaires distincts. Ces logiques réfèrent à des modes de comportements géomorphologiques animés par des contraintes naturelles sur le premier niveau scalaire et par une combinaison de contraintes naturelles et anthropiques sur le second niveau scalaire. Les résultats obtenus sont toutefois inégaux selon les systèmes côtiers étudiés. Par exemple, sur les plages de la presqu'île de Rhuys, la complexité du système traduit par la forte variabilité spatio-temporelle de l'évolution du trait côte n'est pas clairement expliquée. De plus, les résultats des analyses spatiales réalisées et discutées au sein de cette partie ne permettent pas de hiérarchiser l'influence de ces différentes contraintes dans le fonctionnement des systèmes côtiers, ni de vérifier la signification statistique des associations spatiales observées. Afin de répondre à ces questions, une approche statistique, adaptée à l'utilisation de données qualitatives, a été développée.

### III. ANALYSE DES RELATIONS DE DEPENDANCES STATISTIQUES ENTRE LES VARIABLES : INTERPRETATION DES RESULTATS

L'ensemble des analyses statistiques discutées au sein de cette partie a pour objectif de vérifier les relations de dépendances statistiques entre les variables déterminant les associations spatiales précédemment décrites. L'objectif de cette section est de présenter les résultats obtenus par ces analyses et d'examiner dans quelle mesure ils permettent de confirmer les hypothèses soulevées quant aux fonctionnements des systèmes côtiers. La présentation des résultats est organisée en deux sections principales: dans un premier temps, les résultats de l'analyse des histogrammes et des tableaux de contingence sont discutés de manière synthétique autour de deux grands axes. Cette présentation synthétique permet d'alléger la présentation des résultats et d'éviter les redondances avec des informations déjà discutées au sein des sections (I) et (II). Dans un second temps, la discussion s'intéresse aux résultats des analyses multifactorielles et des méthodes de classification des données. Ces résultats sont confrontés aux résultats des analyses spatiales et permettent de discuter de la cohérence des modes de comportements géomorphologiques établis précédemment.

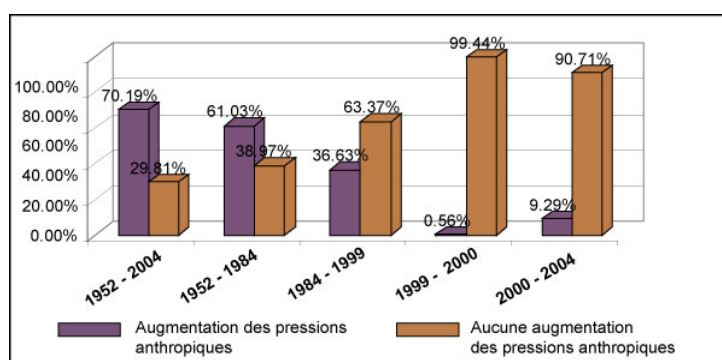
### III.1. Résultats et interprétation des analyses des histogrammes et des tableaux de contingence

Dans un premier temps, l'analyse statistique a cherché à décrire les tableaux de données issus des tables attributaires et à examiner les relations existant entre les variables deux à deux. L'analyse des histogrammes et des tableaux de contingence a permis de dégager deux principales informations, qui sont présentées ici en synthèse. Les tableaux de contingence réalisés est présenté en annexe (Annexe E).

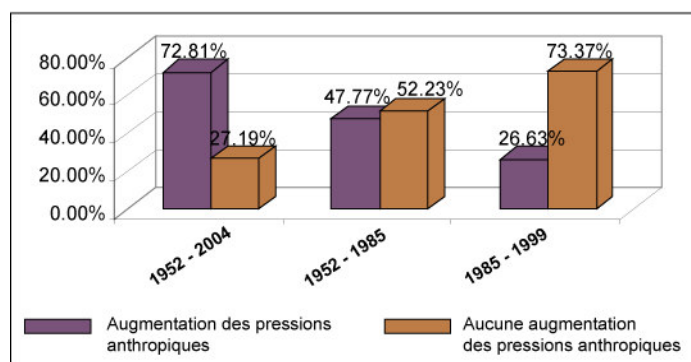
#### III.1.1. Une forte anthropisation de l'espace littoral depuis les années 1950

L'évolution des systèmes côtiers est marquée, sur la totalité du littoral étudié, par une forte augmentation de l'anthropisation de l'espace littoral qui se marque autant par une artificialisation du trait de côte que par une augmentation des pressions exercées sur les formes littorales, tels les massifs dunaires ou le sommet des falaises.

En effet, entre 1952 et 2004, les variations du trait de côte (recul et avancée), dans tous les systèmes littoraux étudiés, sont associées, dans de fortes proportions, à des attributs décrivant une augmentation des pressions anthropiques qui se traduisent par une augmentation des surfaces bâties sur une bande littorale de 100 m, une augmentation du nombre de chemins côtiers et/ou une forte dégradation de la végétation dunaire. Ainsi, entre 1952 et 2004, plus de 70% des polygones représentant une variation du trait de côte sont associés à une augmentation des pressions anthropiques au sein du massif dunaire Gâvres-Penthièvre (Graphique II.1). En baie de Quiberon, la proportion de polygones associés à une augmentation des contraintes anthropiques sur ce pas de temps est très proche et atteint environ 72% (Graphique II.2).



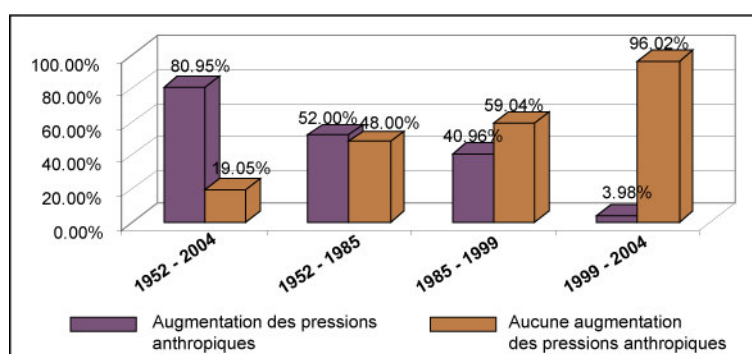
*Graphique II.1 : Pourcentage des sites associés à une augmentation des pressions anthropiques dans le massif dunaire Gâvres-Penthièvre (1952-2004).*



*Graphique II.2 : Pourcentage des sites associés à une augmentation des pressions anthropiques au sein de la Baie de Quiberon (1952-2004).*

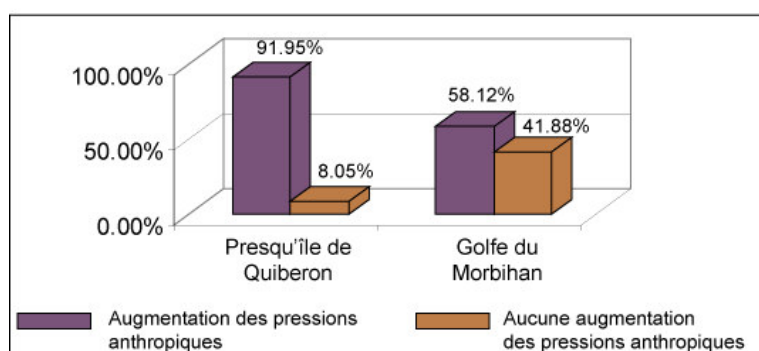
Sur la presqu'île rocheuse de Quiberon, sur la presqu'île de Rhuys – Secteur Suscinio – et dans le Golfe du Morbihan, cette proportion est d'environ respectivement 92%, 80% et 58% (Graphique II.3/II.4).

D'une manière générale, quelque soit le secteur étudié, cette forte augmentation des pressions anthropiques se met en place essentiellement avant 1985. Pour le secteur Gâvres – Penthievre, cette évolution est très nette: 61% des sites sont associés à une augmentation des pressions anthropiques entre 1952 et 1984 contre près de 37% entre 1984 et 1999, et environ 56% puis 9% sur les périodes suivantes (Graphique II.1). En Baie de Quiberon, la proportion des sites associés à une augmentation des pressions anthropiques est également plus forte avant 1985 puisqu'elle excède 47% entre 1952 et 1985, et n'atteint qu'environ 26% entre 1985 et 2004 (Graphique II.2).



*Graphique II.3 : Pourcentage des sites associés à une augmentation des pressions anthropiques au sein de la presqu'île de Rhuys (1952 - 2004).*



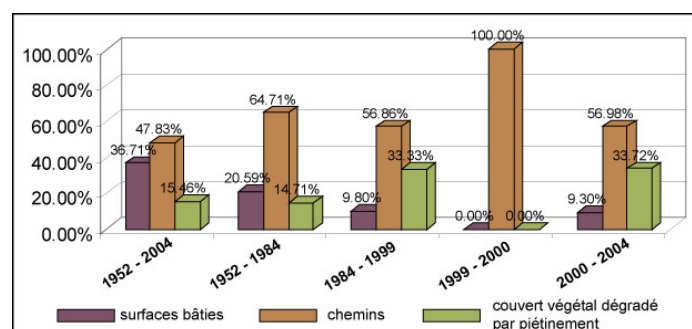


*Graphique II.4: Pourcentage des sites en recul (1952 - 2004) associés à une augmentation des pressions anthropiques dans les systèmes de falaises*

En Presqu'île de Rhuy, les évolutions sont légèrement différentes : la proportion des polygones associés à une augmentation des pressions anthropiques reste importante jusqu'à la fin des années 1990, puisqu'elle est environ de 52% entre 1952 et 1985, 41% entre 1985 et 1999 mais seulement de 4% entre 1999 et 2004 (Graphique II.3).

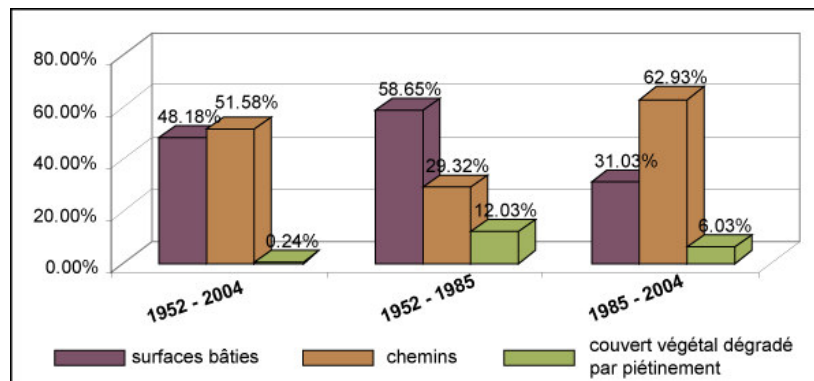
Les graphiques suivants (Graphiques II.5, II.6, II.7, II.8) représentent la proportion des infrastructures, des chemins et de la dégradation du couvert végétal par piétinement parmi les pressions anthropiques associées à chaque pas de temps, pour chaque secteur. Ils mettent en évidence que quelque soit le pas de temps ou le secteur considéré, la pression anthropique la plus fréquente est la présence de chemin côtier.

L'augmentation des surfaces construites dans une bande de 100 m est plus importante pour les périodes antérieures à 1985, et pour la Presqu'île de Rhuy, sur la période antérieure à 1999. Ce dernier point pourrait être mis en relation avec le vote de la loi littorale votée en 1986, et les modifications, à partir des années 1980, des pratiques et des politiques en matière d'aménagement littoral.

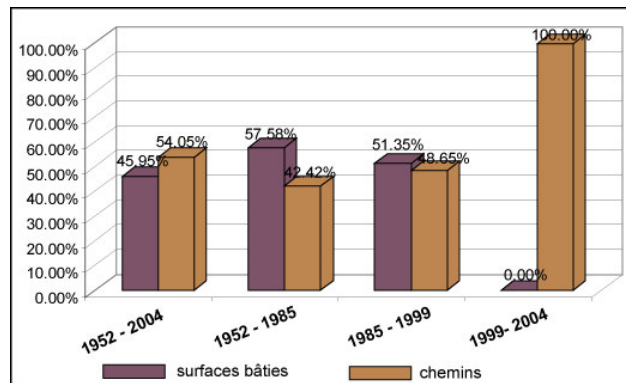


*Graphique II.5: Nature et évolution des contraintes anthropiques associées aux mouvements du trait de côte au sein du massif dunaire Gâvres - Penthièvre (1952 - 2004)*

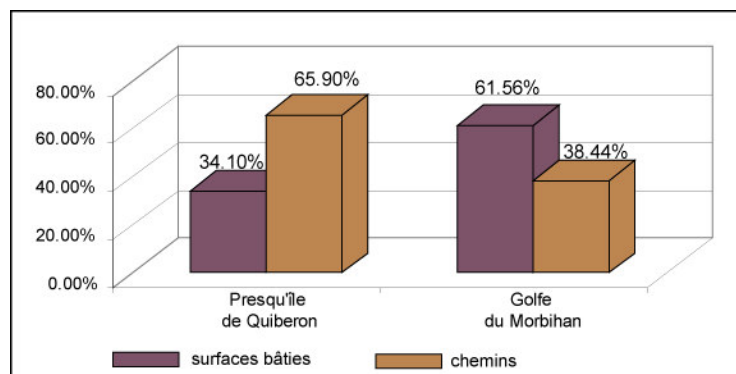




Graphique II.6: Nature et évolution des contraintes anthropiques associées aux mouvements du trait de côte de la baie de Quiberon (1952 - 2004)



Graphique II.7: Nature et évolution des contraintes anthropiques associées aux mouvements du trait de côte de la presqu'île de Rhys (1952 - 2004)



Graphique II.8: Nature et évolution des contraintes anthropiques associées aux mouvements du trait de côte dans les systèmes à falaises (1952 - 2004).

### III.1.2 Evaluation de la pertinence des limites des cellules sédimentaires

Pour les systèmes côtiers Gâvres – Penthievre, Baie de Quiberon et presqu'île de Rhuys, l'analyse des tableaux de contingence qui mettent en relation les variables relatives au positionnement des polygones au sein des cellules sédimentaires et les variables décrivant l'occurrence de l'érosion et de l'accrétion a permis d'examiner la pertinence du découpage des cellules sédimentaires.

Les tableaux suivants représentent les effectifs, pour la période 1952 - 2004, des polygones en érosion et en accrétion, selon leur position au sein des cellules sédimentaires. Les tests du Khi<sup>2</sup> effectués sur les tableaux II.10 et II.11 permettent de retenir l'hypothèse selon laquelle il existe un lien entre les lignes et les colonnes du tableau : la surreprésentation des sites en érosion dans les sites sources et leur relative sous représentation dans les sites puits ne résultent pas du hasard. Ainsi, la classification du linéaire côtier en sites sources, sites de transits et en site puits, au sein du massif dunaire Gâvres-Penthievre et en baie de Quiberon apparaît en cohérence avec certaines caractéristiques des variations du trait de côte entre 1952 et 2004. Des tableaux similaires, présentés en annexe, ont été analysés pour les autres pas de temps étudiés. D'une manière générale, les résultats sont satisfaisants pour les périodes 1985-1999, 1999-2000 et 2000-2004 pour le massif dunaire, et pour tous les autres pas de temps étudiés concernant la baie de Quiberon. A l'inverse, le test du Khi<sup>2</sup> effectué sur le tableau II.12, concernant la Presqu'île de Rhuys, ne permet pas d'établir un lien statistique entre les lignes et les colonnes du tableau. Le découpage du linéaire côtier en sites sources, de transits, et en sites puits ne coïncide pas avec les variations du trait de côte observées sur la période 1952 – 2004. Les polygones en érosion sont surreprésentés dans les sites sources. La répartition entre polygones en érosion/polygones en accrétion est proche dans les sites de transit, mais dans les sites puits, les polygones en accrétion sont sous-représentés. Ce dernier point sera discuté plus en détails à partir d'analyses statistiques supplémentaires, dans les sections suivantes.

	site source	site de transit	site puits
Nb de polygones en érosion	59	25	9
Nb de polygones en accretion	34	55	24
Nb total de polygones	93	80	33
% de sites en erosion	63.44%	31.25%	27.27%
% de sites en accrétion	36.56%	68.75%	72.73%

Khi<sup>2</sup> observé= 23.06, Khi<sup>2</sup> critique= 5.99, ddl= 2, p < 0.0001, α = 0.05

*Tableau II.10: Analyse de la répartition statistique des polygones en érosion et en accrétion, en fonction de la position du trait de côte au sein des cellules sédimentaires. Secteur: Massif dunaire Gâvres - Penthievre - 1952 - 2004*

	site source	site de transit	site puits
Nb de polygones en érosion	147	39	43
Nb de polygones en accretion	30	103	6
Nb total de polygones	177	142	126
% de sites en érosion	83.05%	27.46%	34.13%
% de sites en accrétion	16.85%	72.54%	65.87%

Khi<sup>2</sup> observé= 118.60, Khi<sup>2</sup> critique= 5.99, ddl= 2, p < 0.0001,  $\alpha$  = 0.05

*Tableau II.11: Analyse de la répartition statistique des polygones en érosion et en accrétion, en fonction de la position du trait de côte au sein des cellules sédimentaires. Secteur: Baie de Quiberon - 1952 - 2004*

	site source	site de transit	site puits
Nb de polygones en érosion	13	39	9
Nb de polygones en accretion	5	33	6
Nb total de polygones	18	72	15
% de sites en érosion	72.22%	54.17%	60.00%
% de sites en accrétion	27.78%	45.83%	40.00%

Khi<sup>2</sup> observé= 1.95, Khi<sup>2</sup> critique= 5.99, ddl= 2, p < 0.0001,  $\alpha$  = 0.05

*Tableau II.12: Analyse de la répartition statistique des polygones en érosion et en accrétion, en fonction de la position du trait de côte au sein des cellules sédimentaires. Secteur: Presqu'île de Rhuy - 1952 - 2004*

### III.2. Résultats et interprétation des analyses statistiques multivariées

Cette section synthétise les résultats des analyses statistiques multivariées. Les résultats des ACM sont d'abord discutés, pour chaque système côtier étudié, afin de mettre en évidence les principales variables contrôlant la distribution statistique des sites en érosion et en accrétion. Les résultats sont présentés sous forme de graphiques, représentant la position des variables et des modalités sur les deux premiers axes factoriels. Les valeurs des coordonnées de chaque variable sur les axes et leurs contributions aux axes sont présentées de manière plus précise en annexe (Annexe F). Sur le graphique, les variables qui sont proches les unes des autres sont statistiquement associées les unes aux autres. L'interprétation des ACM est ensuite confirmée et détaillée à partir de l'analyse des résultats des CAH, présentés à la suite sous forme de cartes et de tableaux. Les différentes classes obtenues à partir des CAH permettent de préciser l'interprétation des résultats des ACM en regroupant les individus selon leur position dans le plan factoriel. L'interprétation des résultats produits par les CAH consiste à identifier à quelles variables correspondent les classes obtenues en fonction des coordonnées, sur les axes factoriels, des objets centraux composant les classes.

Ces classes doivent être interprétées comme des regroupements d'individus caractérisés par les mêmes types d'association de variables.

Elles permettent d'identifier des types d'évolution géomorphologique définie comme l'association d'un mouvement du trait de côte (recul vs avancée) avec un certain nombre de variables représentant des contraintes naturelles ou anthropiques. L'apport de la CAH réside dans le fait qu'elle permet de cartographier les résultats de l'ACM en rassemblant les individus suivant ces types de comportement géomorphologique.

### III.2.1. Le massif dunaire Gâvres – Penthievre

#### **III.2.1.a. Analyse sur le temps long : 1952 - 2004**

##### L'analyse des correspondances multiples :

L'ACM réalisée pour le pas de temps 1952 - 2004 a permis de dégager plusieurs axes factoriels, dont les deux premiers expliquent 60.8% de la variance totale (Figure II.13).

Le premier axe est principalement défini par des contraintes naturelles et explique près de 44% de la variance. Les variables qui contribuent le plus fortement à définir cet axe sont : la position dans la cellule sédimentaire (site source et site de transit), le type de mouvement enregistré par le trait de côte (accrétion/érosion), la morphologie du site (falaise/dune), les classes 5, 6, 1 et 3 décrivant l'ampleur des mouvements du trait de côte et les secteurs d'orientation Sud-Est, Sud et Nord-Ouest. Autrement dit, cet axe est essentiellement défini par des contraintes naturelles. Il permet d'associer les mouvements d'érosion aux falaises orientées Sud et Sud-Est, situées dans les sites sources et caractérisées par des reculs de faibles ampleurs. A l'inverse, les mouvements d'accrétion sont associés aux dunes, orientées Nord-Ouest, situées dans les sites de transports et concernent des surfaces plus importantes.

Le second axe explique 16.08% de l'information totale. Il est défini par des variables renvoyant à des contraintes anthropiques (augmentation des surfaces bâties et augmentation des chemins côtiers) auxquelles sont associées certaines contraintes naturelles, comme la position dans la cellule sédimentaire, la morphologie des sites et l'orientation. Il met en évidence que les dunes en érosion situées dans les sites de transports sont associées à une augmentation des surfaces artificialisées et des chemins. De même, le recul des falaises, dans les sites sources, est associé à une augmentation des contraintes anthropiques.

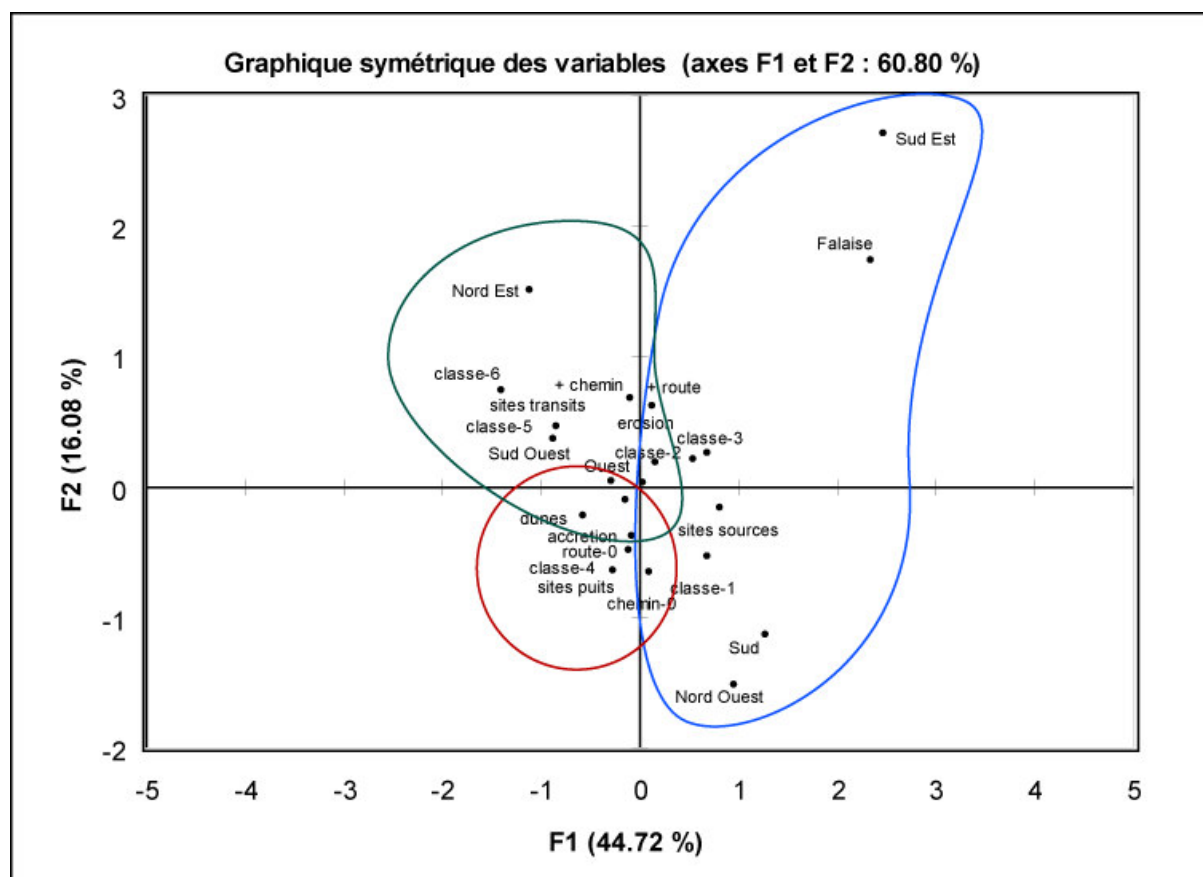


Figure II.13: Représentation graphique des axes factoriels 1 et 2 issus de l'ACM effectuée sur la table attributaire associée aux mouvements du trait de côte au sein du massif dunaire entre 1952 et 2004.

D'une manière générale, les résultats de l'ACM soulignent **le poids des contraintes naturelles dans le fonctionnement du massif dunaire, entre 1952 et 2004**. Parmi ces contraintes, la position dans la cellule sédimentaire et le type de morphologie ont plus de poids que l'orientation du trait de côte. Dans certains secteurs spécifiques, en particulier dans les sites de transport et dans une moindre mesure dans les sites puits, **le recul du front dunaire est également associé à une augmentation des contraintes anthropiques**.

#### La classification ascendante hiérarchique

La CAH effectuée sur le pas de temps 1952-2004 à partir des coordonnées des individus sur les axes factoriels met en évidence cinq classes. Ces résultats permettent d'affiner l'analyse des axes factoriels en identifiant cinq ensembles de données au sein des trois régions dessinées sur la figure II.10. Les valeurs des variances intra-classe et inter-classe s'élèvent à 18.15% et 81.85%. La position des objets centraux de chaque classe dans le plan factoriel est indiquée dans le tableau II.13. La carte II.36 représente la distribution spatiale de ces classes le long du massif dunaire.

Classe	Coordonnées sur l'axe 1	Coordonnées sur l'axe 2	Classe
1	1.058	0.789	1
2	-0.148	-0.135	2
3	0.392	-0.122	3
4	-0.660	-0.133	4
5	-0.965	2.262	5

*Tableau II.13 : Position des objets centraux dans le plan factoriel (Massif dunaire - 1952/2004)*

La classe 1 regroupe les individus ayant des coordonnées positives sur les deux axes factoriels (Tableau II.12). La lecture, à partir de la figure II.10, des variables associées à cette région de l'espace vectoriel permet d'identifier les caractéristiques des individus composant la classe 1. Ils correspondent à des falaises en érosion, exposées Sud-Est et marquées par une augmentation des surfaces artificialisées. Ces sites sont concentrés sur la pointe de Gâvres (Carte II.36).

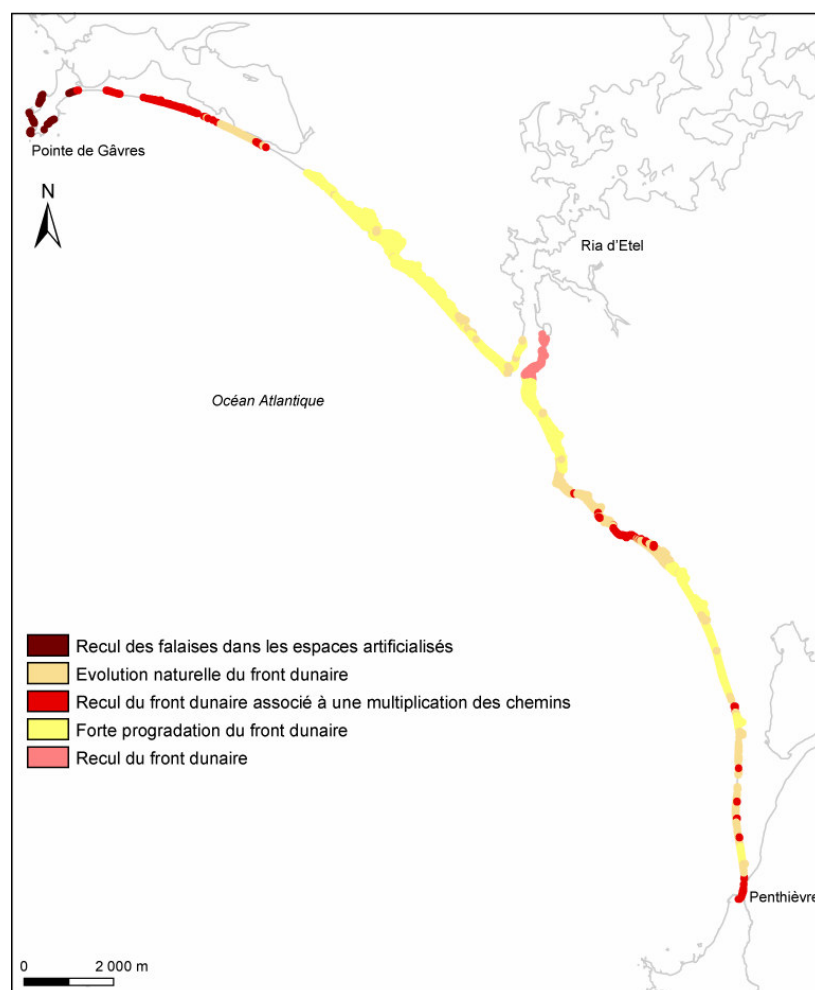
La classe 2 rassemble les individus caractérisés par des coordonnées négatives, proches de l'origine (Tableau II.13). Cette classe représente les dunes exposées majoritairement Ouest. L'interprétation des axes factoriels souligne que l'évolution de ces dunes est relativement indépendante des contraintes anthropiques analysées.

La classe 3 est définie par des coordonnées positives sur l'axe 1 et négatives et proches de l'origine sur l'axe 2 (Tableau II.13). Ces individus sont caractérisés par des variables indiquant des surfaces en mouvement importantes dans les dunes situées dans les sites de transports et associées à une augmentation des chemins côtiers. L'interprétation de l'axe 2 met, en outre, en évidence que ces sites sont caractérisés par un recul du front dunaire.

Ces sites sont bien représentés au Nord et au Sud du massif dunaire (Carte II.36), respectivement assimilés à des sites sources et des sites puits (Carte II.12).

La classe 4 est définie par des coordonnées négatives sur les deux axes, avec des valeurs proches de l'origine pour l'axe 2 (Tableau II.13).

Elle regroupe des individus associés aux variables décrivant une forte progression du front dunaire, dans les sites puits et les sites de transports. Ces secteurs ne sont pas caractérisés par une augmentation des pressions anthropiques. Ces sites sont dispersés dans la partie centrale et au Sud du massif dunaire (Carte II.36).



*Carte II.36 : Répartition spatiale des classes issues de la CAH : analyse des variables contrôlant l'évolution du massif dunaire entre 1952 et 2004*

La classe 5 est définie par des valeurs négatives sur l'axe 1 et fortement positives sur l'axe 2 (Tableau II.13). Elle décrit les mouvements de recul du front dunaire, mis en évidence par l'axe 1.

Les classes 2, 4 et 5 regroupent des sites dont l'évolution est associée uniquement à des contraintes naturelles. Elles renvoient aux informations délivrées par l'axe 1 et permettent d'individualiser trois types d'espaces : les espaces en accrétion situés dans les dunes, les espaces en érosion au niveau des falaises et les espaces concernés par un recul du front dunaire. Les classes 1 et 3 soulignent l'existence de sites dont l'évolution géomorphologique est associée à une combinaison de variables dérivant des contraintes à la fois naturelles et anthropiques (axe 2).

Cette information, délivrée par l'axe 2, est davantage précisée puisque deux types d'espace sont identifiés : les falaises en érosion associées à une augmentation des surfaces artificialisées et les dunes situées dans les sites de transports, associées à une multiplication du nombre de chemins.



### **III.2.1.b. Analyse sur les pas de temps intermédiaires: 1952 - 1984**

#### L'analyse des correspondances multiples :

Sur la période 1952 – 1984, les deux premiers axes factoriels dégagés par l'ACM expliquent 60.90% de la variance totale (Figure II.14).

Le premier axe est défini par les variables morphologie (falaise/dune), position dans la cellule sédimentaire (site source et site de transit), l'exposition aux vents et à la houle (abrité/exposé), l'augmentation du nombre de chemins côtiers et des surfaces artificialisées ainsi que certains secteurs d'orientation (Nord-Est/Sud-Est/ Nord-Ouest/ Sud-Ouest). Il est défini par des variables renvoyant à des contraintes à la fois anthropiques et naturelles. Il permet d'associer les falaises en érosion, situées dans les sites sources, exposées Nord Est, Nord-Ouest et Sud-Est, et caractérisées par des reculs de faibles amplitudes à une augmentation des surfaces bâties. En opposition, il permet de regrouper les dunes en accrétion, orientées Nord-Ouest, situées dans les sites de transit, et associées à une augmentation du nombre de chemins côtiers.

Le deuxième axe est également défini par des variables renvoyant à des contraintes à la fois anthropiques et naturelles. Les variables qui contribuent le plus à définir cet axe sont : la morphologie (falaise/dune), la position dans la cellule sédimentaire (site source/site de transit), l'exposition aux vents et à la houle (abrité/exposé), le type de mouvement du trait de côte (érosion/accrétion), l'orientation Nord-Est, les classes 1 et 4 décrivant l'amplitude des mouvements du trait de côte et l'augmentation des surfaces bâties. Il permet d'opposer les dunes en accrétion situées dans les sites de transport, aux falaises, exposées, en érosion, associées à une augmentation des surfaces artificialisées et caractérisées par des reculs de grande amplitude.

Sur ce pas de temps, l'évolution du trait de côte résulte de la combinaison de contraintes anthropiques et naturelles, associée à des mouvements de recul ou d'avancée du trait de côte.

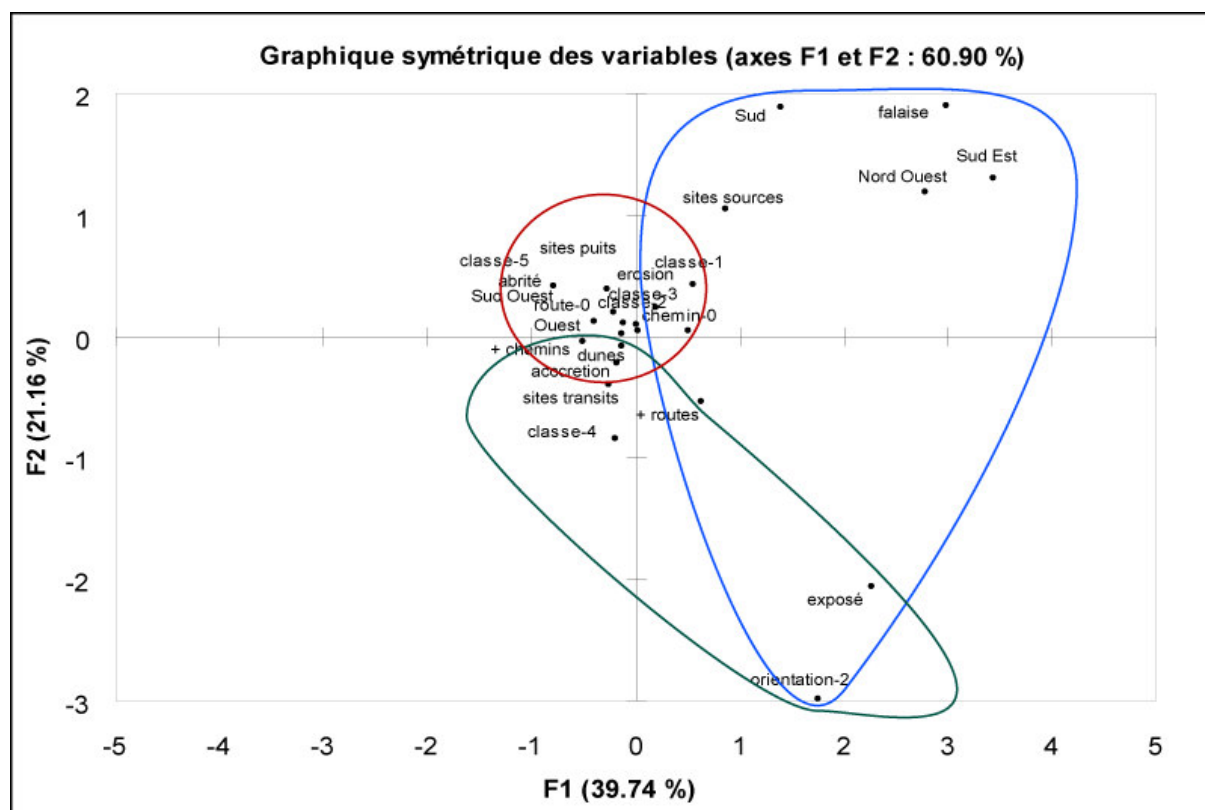


Figure II.14: Représentation graphique des axes factoriels 1 et 2 issus de l'ACM effectuée sur la table attributaire associée aux mouvements du trait de côte au sein du massif dunaire entre 1952 et 1984.

### La classification ascendante hiérarchique

La CAH réalisée à partir des coordonnées des individus sur les axes factoriels permet de partitionner la population des sites étudiés en 6 classes. La variance inter-classe est égale à 90.25% et la variance intra-classe s'élève à 9.75%. La position des objets centraux de chaque classe dans le plan factoriel est indiquée dans le tableau II.14. La carte II.37 présente la répartition spatiale de ces classes.

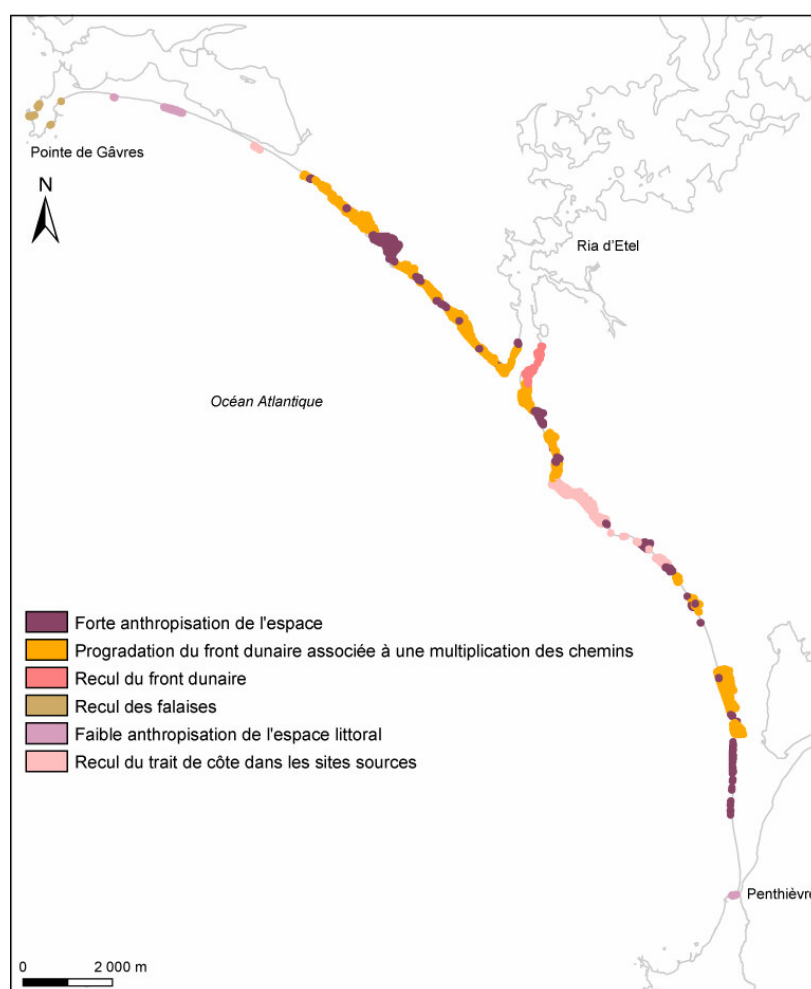
La classe 1 est caractérisée par des individus dont la position est définie par des valeurs faiblement négatives sur l'axe 1 et faiblement positives sur l'axe 2 (Tableau II.14). Ces individus correspondent à des sites marqués par une augmentation des surfaces artificialisées. Ils sont dispersés sur l'ensemble du linéaire côtier (Carte II.37) et souvent localisés dans des secteurs marqués par un recul du trait de côte sur ce pas de temps (Carte II.1b).

La classe 2 regroupe les individus associés à des valeurs négatives sur les axes factoriels 1 et 2 (Tableau II.14). Elle regroupe les sites marqués par une progression du front dunaire, dans les sites de transport, associée à une multiplication du nombre de chemins côtiers (axe 1). Ce type de site est bien représenté au Nord de la ria d'Etel (Carte II.37).

Classe	Coordonnées sur l'axe 1	Coordonnées sur l'axe 2	Classe
1	-0.093	0.065	1
2	-0.377	-0.178	2
3	0.924	-1.503	3
4	2.194	0.629	4
5	0.897	0.710	5

Tableau II.14 : Position des objets centraux dans le plan factoriel (Massif dunaire - 1952/1984)

La classe 3 est définie par des coordonnées positives sur l'axe 1 et négatives sur l'axe 2 (Tableau II.14). Elle décrit le recul, associé à des contraintes naturelles, du front dunaire dans les sites de transports et dans les sites puits, exposés Ouest et Sud-Ouest.



Carte II.37 : Répartition spatiale des classes issues de la CAH : analyses des variables contrôlant l'évolution du massif dunaire entre 1952 et 1984

La classe 4 rassemble les individus dont les coordonnées sont fortement positives sur les deux axes factoriels (Tableau II.14). Cette classe décrit le recul des falaises de Gâvres (Carte II.37), dans les sites sources, exposés Sud-Est et Nord-Ouest. Les vitesses de recul sont de faibles ampleurs (classe 1). La classe 5 est définie par des coordonnées faiblement positives sur les deux axes factoriels.

Elle regroupe les sites dont l'évolution est caractérisée par des surfaces en mouvement peu importantes (classe 2 et classe 3) alors qu'ils ne sont associés à aucune augmentation du nombre de chemins côtiers. Ils sont peu nombreux, concentrés aux extrémités Nord et Sud du massif dunaire (Carte II.37).

La classe 6 regroupe les individus dont les coordonnées sont proches de l'origine sur l'axe 1 et positives sur l'axe 2. Cette classe regroupe les sites marqués par un recul du trait de côte, notamment dans les sites sources, en particulier au Nord du massif dunaire et au Sud-Est de la ria d'Etel (Carte II.37).

Les résultats de la CAH confirment et précisent les résultats des analyses statistiques multifactorielles et univariées. Les sites caractérisés par une augmentation des surfaces artificialisées sont nombreux sur ce pas de temps. Ils forment une classe à part entière, très dispersée. Conformément aux résultats de l'ACM, ces contraintes anthropiques ne sont pas systématiquement associées à un mouvement particulier du trait de côte (érosion vs accrétion). Toutefois, la comparaison des cartes II.1b et II.37 indique que cette augmentation des contraintes anthropiques est souvent localisée dans des secteurs enregistrant un recul du trait de côte entre 1952 et 1985. Par ailleurs, la CAH apporte une information supplémentaire en montrant que les mouvements du trait de côte sont moins importants dans les secteurs marqués par aucune forme d'anthropisation entre 1952 et 1985.

### **III.2.1.c. Analyse sur les pas de temps intermédiaires: 1984 - 1999**

#### L'analyse des correspondances multiples :

Sur la période 1984-1999, les deux premiers axes factoriels dégagés par l'ACM expliquent 68.94% de la variance totale (Figure II.15). Le premier axe résume près de 52% de la distribution statistique des sites étudiés. Il est défini à partir des variables : mouvement (érosion/accrétion), morphologie (falaise/dune), localisation dans la cellule sédimentaire (site source/ site de transport), la situation d'abri (abrité/exposé), l'orientation (Nord-Ouest), les classes 1 et 5 décrivant l'amplitude des mouvements du trait de côte, et dans une moindre mesure la présence de chemins. **Il est majoritairement défini par des contraintes naturelles.** Il met en opposition les falaises en érosion situées dans les sites sources, abritées, exposées Nord-Ouest, et caractérisées par des reculs de faibles amplitudes, aux dunes en accrétion situées dans les sites de transports et les sites puits, associées à une augmentation du nombre de chemins côtiers et à des mouvements de plus grandes ampleurs.

Le deuxième axe explique 16.91% de l'information totale. Il est principalement défini par les variables : augmentation du nombre de chemins (présence/absence) et des surfaces artificialisées (présence/absence) auxquelles sont associées des contraintes naturelles telles que la localisation dans la cellule sédimentaire, l'exposition aux vents ou la morphologie. **A l'inverse de l'axe 1, il est essentiellement défini par des variables renvoyant à des contraintes anthropiques.** Il permet d'opposer les falaises en recul dans les sites sources, aux dunes en accrétion situées dans les sites de transports et associées à une augmentation des pressions anthropiques, et aux dunes en érosion situées dans les sites puits mais exposées aux houles dominantes.

Sur ce pas de temps, les variations du trait de côte sont principalement expliquées par des contraintes naturelles, et, dans une moindre mesure, par des contraintes anthropiques. L'augmentation des contraintes anthropiques est aussi bien associée à des mouvements de recul qu'à des mouvements d'avancée du trait de côte.

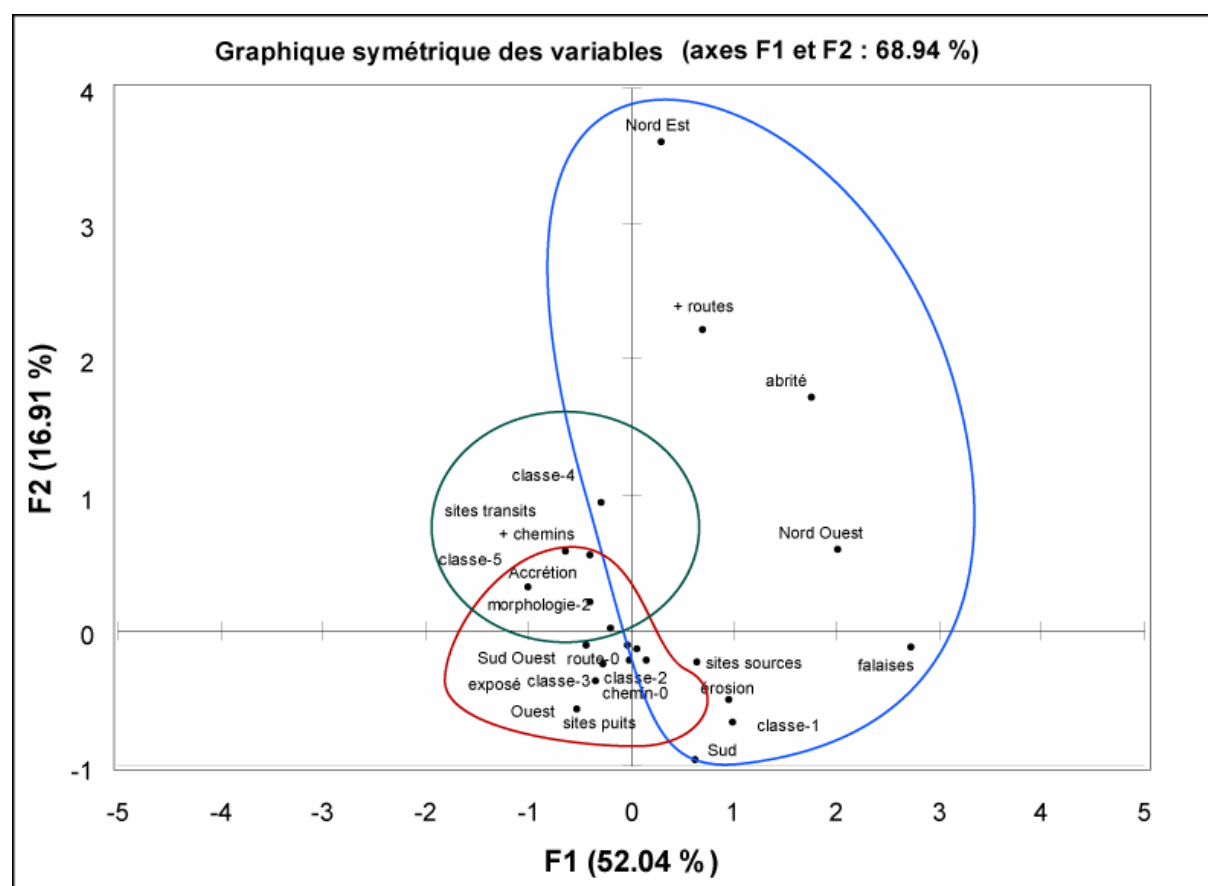


Figure II.15: Représentation graphique des axes factoriels 1 et 2 issus de l'ACM effectuée sur la table attributaire associée aux mouvements du trait de côte au sein du massif dunaire entre 1984 et 1999.

### La classification ascendante hiérarchique

La CAH réalisée à partir des coordonnées des individus sur les axes factoriels F1 et F2 a permis de dégager 5 classes. Les variances intra-classe et inter-classe sont respectivement de 15.99% et 84.01%. La position des objets centraux associés à chaque classe sur les axes factoriels est indiquée dans le tableau II.15.

Classe	Coordonnées sur l'axe 1	Coordonnées sur l'axe 2
1	-0.409	0.022
2	0.177	-0.412
3	0.027	1.841
4	0.772	0.713
5	1.936	0.100

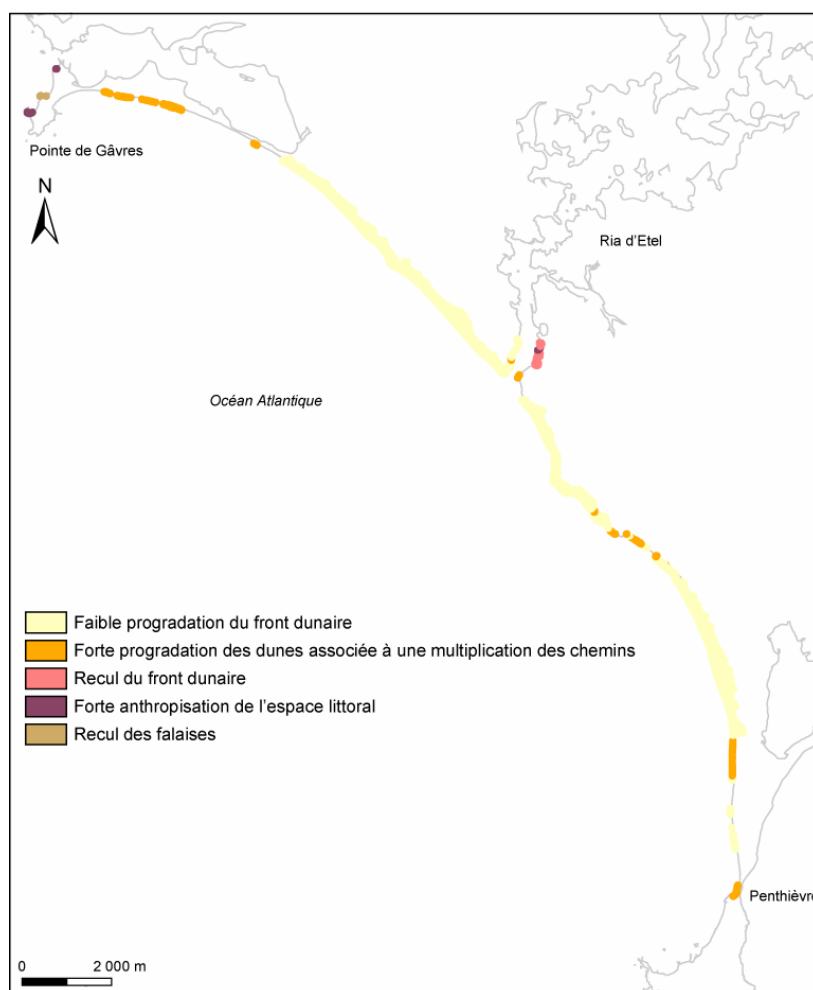
*Tableau II.15 : Position des objets centraux dans le plan factoriel (Massif dunaire - 1984/1999)*

La classe 1 est caractérisée par des individus dont les coordonnées sont négatives sur l'axe 1 et proches de l'origine sur l'axe 2 (Tableau II.15). Les variables situées dans cette région de l'espace factoriel (Figure II.15) décrivent des sites caractérisés par des évolutions faibles (classe 2) et une absence d'augmentation des différentes contraintes anthropiques étudiées (surfaces artificialisées et chemins côtiers), notamment dans les sites puits. L'interprétation de l'axe 1 indique que ces mouvements correspondent principalement à une progradation du front dunaire sur des surfaces peu importantes. Cette évolution est associée à la majorité des sites étudiés entre 1984 et 1999 (Carte II.38), soulignant la prédominance des processus d'accrétion sur ce pas de temps.

La classe 2, associée à des coordonnées positives sur l'axe 1 et négatives sur l'axe 2 (Tableau II.15), regroupe l'ensemble des sites, situés dans les sites de transports, caractérisés par une progression du front dunaire, sur des surfaces importantes, et associés à une augmentation du nombre de chemins côtiers.

La classe 3 regroupe les individus ayant des coordonnées positives sur l'axe 1, proches de l'origine, et des coordonnées fortement positives sur l'axe 2 (Tableau II.15). Elle décrit une information résiduelle, probablement associée à une érosion du front dunaire, dans les sites sources ou les sites de transports. Ces sites sont situés au niveau de la ria d'Etel (Carte II.38).

La classe 4 est définie par des coordonnées positives sur les deux axes factoriels (F1 – F2) (Tableau II.15). Elle regroupe des sites ayant pour principales caractéristiques d'être associés à une augmentation des surfaces artificialisées entre 1984 et 1999. Ils sont concentrés sur la pointe de Gâvres (Carte II.38).



*Carte II.38 : Répartition spatiale des classes issues de la CAH : analyse des variables contrôlant l'évolution du massif dunaire entre 1984 et 1999*

La classe 5 regroupe les sites dont les coordonnées sont fortement positives sur l'axe 1 et proches de l'origine sur l'axe 2 (Tableau II.15). Elle regroupe les sites associés à un recul du sommet des falaises de Gâvres (Carte II.38).

Les informations délivrées par la CAH renforcent et précisent les résultats obtenus par l'ACM. Les classes 1 et 3 décrivent les comportements résultant principalement des contraintes naturelles associées à l'axe 1. Les classes 2 et 4 renvoient aux évolutions décrites par l'axe 2. Par ailleurs, la classification effectuée permet de dégager des informations également mises en évidence sur le pas de temps précédent : les surfaces artificialisées forment une classe à part, localisée au niveau des falaises de Gâvres. Les sites marqués par une augmentation du nombre de chemins côtiers évoluent sur de plus grandes surfaces que les sites non associés à une augmentation des contraintes anthropiques.



Enfin, la prédominance des phénomènes d'accrétion sur ce pas de temps, mis en évidence par la carte II.1c, est soulignée par la combinaison des résultats des ACM et des CAH : les sites associés aux variables décrivant un recul du trait de côte sont peu nombreux et ne permettent pas de dégager des classes bien marquées, à l'exception de la classe décrivant le recul des falaises de Gâvres.

### **III.2.1.d. Analyse sur les pas de temps intermédiaires: 1999 - 2000**

#### L'analyse des correspondances multiples :

Sur la période 1999-2000, les deux premiers axes factoriels dégagés par l'ACM expliquent 59.12% de la variance totale (Figure II.16). Les deux premiers axes, qui expliquent respectivement 41.65% et 17.47% de la variance, sont principalement définis par des variables correspondant à des **contraintes naturelles**. Les types de mouvements (érosion/accrétion) sont associés à des contraintes naturelles telles que la morphologie, la position dans la cellule sédimentaire, la situation d'abri et l'orientation du trait de côte.

Le premier axe apporte des informations sur les processus d'accrétion opérant au sein des dunes. L'accrétion est observée dans les sites de transport et dans les sites puits, sur des surfaces peu importantes. Les falaises situées dans les sites sources sont caractérisées par de fortes valeurs de recul.

Le second axe apporte des informations sur l'érosion du front de dune dans les sites de transport. L'érosion y est importante, notamment dans les secteurs orientés Nord-Ouest et Ouest. La lecture du graphe et de l'axe 4 met également en évidence que cette érosion est associée à une augmentation du nombre de chemins côtiers.

Sur ce pas de temps, l'évolution du trait de côte est principalement contrôlée par des contraintes naturelles. L'influence des contraintes anthropiques est assez faible. Très résiduelle, elle est associée au recul des dunes dans les sites de transport et les sites puits.

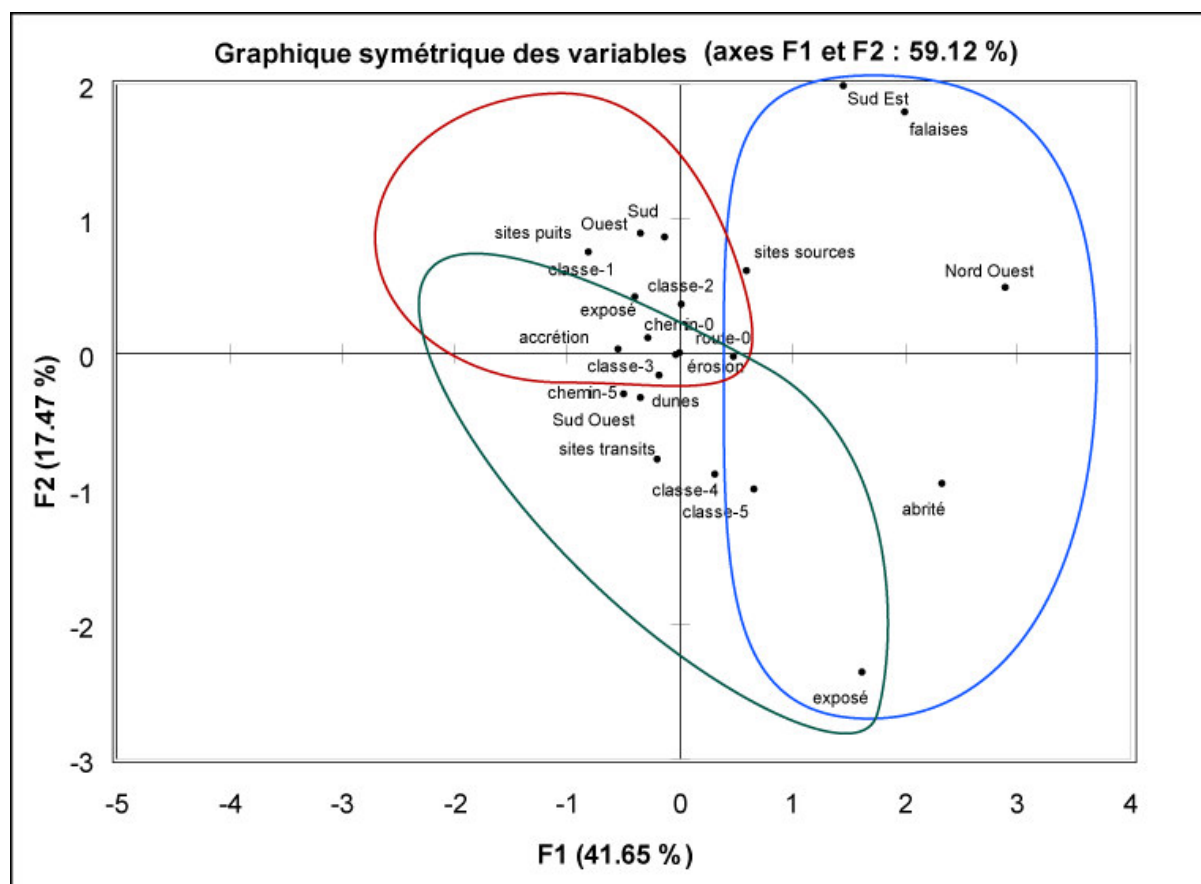


Figure II.16: Représentation graphique des axes factoriels 1 et 2 issus de l'ACM effectuée sur la table attributaire associée aux mouvements du trait de côte au sein du massif dunaire entre 1999 et 2000.

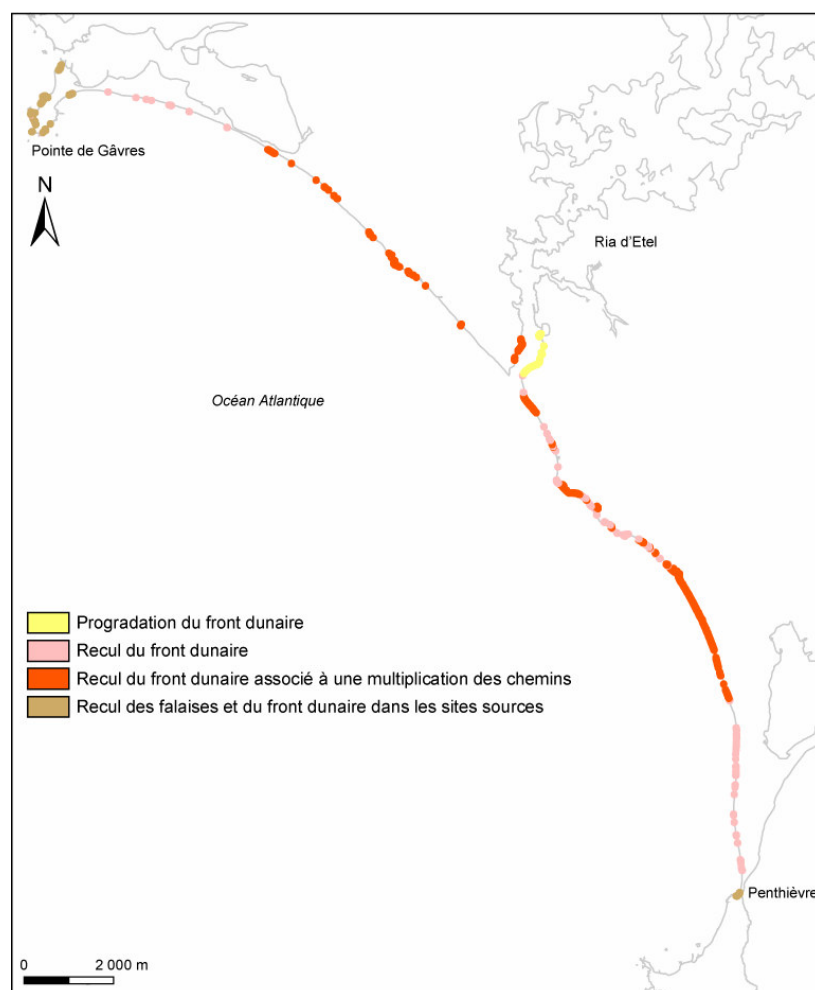
### La classification ascendante hiérarchique

Quatre classes ont été identifiées à partir de la CAH réalisée sur les coordonnées des individus dans le plan factoriel défini par F1 et F2. Les variances intra-classe et inter-classe sont respectivement de 23.10% et 76.90%. La position des objets centraux associés à chaque classe sur les axes factoriels est indiquée dans le tableau II.16.

Classe	Coordonnées sur l'axe 1	Coordonnées sur l'axe 2
1	0.940	-1.228
2	-0.254	0.277
3	-0.201	-0.337
4	1.186	0.664

Tableau II.16 : Position des objets centraux dans le plan factoriel (Massif dunaire - 1984/1999)

La classe 1 représente les individus dont la position sur le plan factoriel est définie par des coordonnées positives sur F1 et négatives sur F2 (Tableau II.16). Cet ensemble regroupe les sites associés à une progradation du front dunaire dans les sites orientés Ouest et Sud.



*Carte II.39 : Répartition spatiale des classes issues de la CAH : analyse des variables contrôlant l'évolution du massif dunaire entre 1999 et 2000*

Les mouvements du trait de côte ne sont pas associés à une augmentation des contraintes anthropiques. Ces sites sont surtout représentés au niveau de la ria d'Etel (Carte II.39).

La classe 2 est composée d'individus caractérisés par des coordonnées négatives sur l'axe 1 et positives sur l'axe 2, tout en étant relativement proches de l'origine (Tableau II.16). Cette classe regroupe les sites dont l'évolution est marquée par l'occurrence de processus érosifs qui entraînent un recul du front dunaire. Ces sites sont bien représentés dans deux espaces : au Nord du massif dunaire et au Sud du massif dunaire (Carte II.39).

La classe 3 est définie par des coordonnées négatives sur les deux axes factoriels. Elle décrit l'évolution du front dunaire dans les sites de transports, associés à une augmentation du nombre de chemins côtiers (Tableau II.16). Elle renvoie ainsi à une partie de l'information fournie par l'axe 2. Cette classe est relativement proche, sur le plan factoriel, de la classe 2, soulignant ainsi l'importance des processus érosifs associés au front dunaire dans ces sites. Ces sites sont associés à des valeurs de recul plus importantes que ceux contenus dans la classe 2.

Une forte densité de ces sites est observée dans la partie centrale du massif dunaire (Carte II.39).

La classe 4 regroupe les individus dont les coordonnées sont positives sur F1 et F2 (Tableau II.16). Il s'agit des sites en recul dans les secteurs de falaises assimilés à des sites sources, exposés Sud-Est ou Nord-Ouest.

Les informations délivrées par la CAH permettent de préciser les résultats de l'ACM. L'évolution des différents sites est dominée par des processus d'érosion conduisant au recul du trait de côte. Ces évolutions sont principalement associées à des contraintes naturelles, excepté dans les dunes situées au sein des sites de transports marqués par une augmentation du nombre de chemins côtiers. Dans les sites de transport, les sites caractérisés par une augmentation du nombre de chemins enregistrent des valeurs de recul plus importantes. Enfin, les résultats des ACM et CAH soulignent l'importance des processus érosifs sur ce pas de temps (Carte II.1d): les sites associés à des variables décrivant une progradation du front dunaire sont minoritaires et sont mal regroupés dans des classes distinctes.

### **III.2.1.e. Analyse sur les pas de temps intermédiaires: 2000 - 2004**

#### L'analyse des correspondances multiples :

Sur la période 2000 – 2004, les deux premiers axes factoriels dégagés par l'ACM expliquent 57.79% de la variance totale (Figure II.17).

Le premier axe explique 36.71% de l'information totale délivrée par la distribution statistique des sites étudiés. Il est défini par les variables morphologie (dune/falaise), mouvements du trait de côte (érosion/accrétion), position dans la cellule sédimentaire (site sources, site de transports, site puits), l'exposition aux vents et à la houle (abrité/exposé), certains secteurs d'orientation (Nord-Ouest, Sud-Est, Sud-Ouest) et l'augmentation des surfaces bâties (présence/absence). Il met en opposition les falaises en érosion situées dans les sites sources, abritées et exposées Nord-Ouest, Sud-Ouest, et associées à une augmentation des surfaces bâties, aux dunes en accrétion situées dans les sites de transits et les sites puits, orientées Sud-Est. Cet axe est défini par une **combinaison de variables renvoyant à des contraintes naturelles et dans une moindre mesure à des contraintes anthropiques.**

L'axe 2 synthétise 21% de l'information totale. Il est défini à la fois par des variables renvoyant à des **contraintes naturelles et anthropiques.**

Il met en opposition les dunes en accrétion situées dans les sites de transports, en situation d'abris, par rapport aux dunes en érosion localisées dans les sites puits et associées à une augmentation du nombre de chemins côtiers.

Sur ce pas de temps, l'évolution du trait de côte est contrôlée par des contraintes naturelles auxquelles s'ajoutent des contraintes anthropiques, associées à l'érosion des falaises dans les sites sources et l'érosion du front dunaire dans les sites puits orientés Sud – Sud-Est.

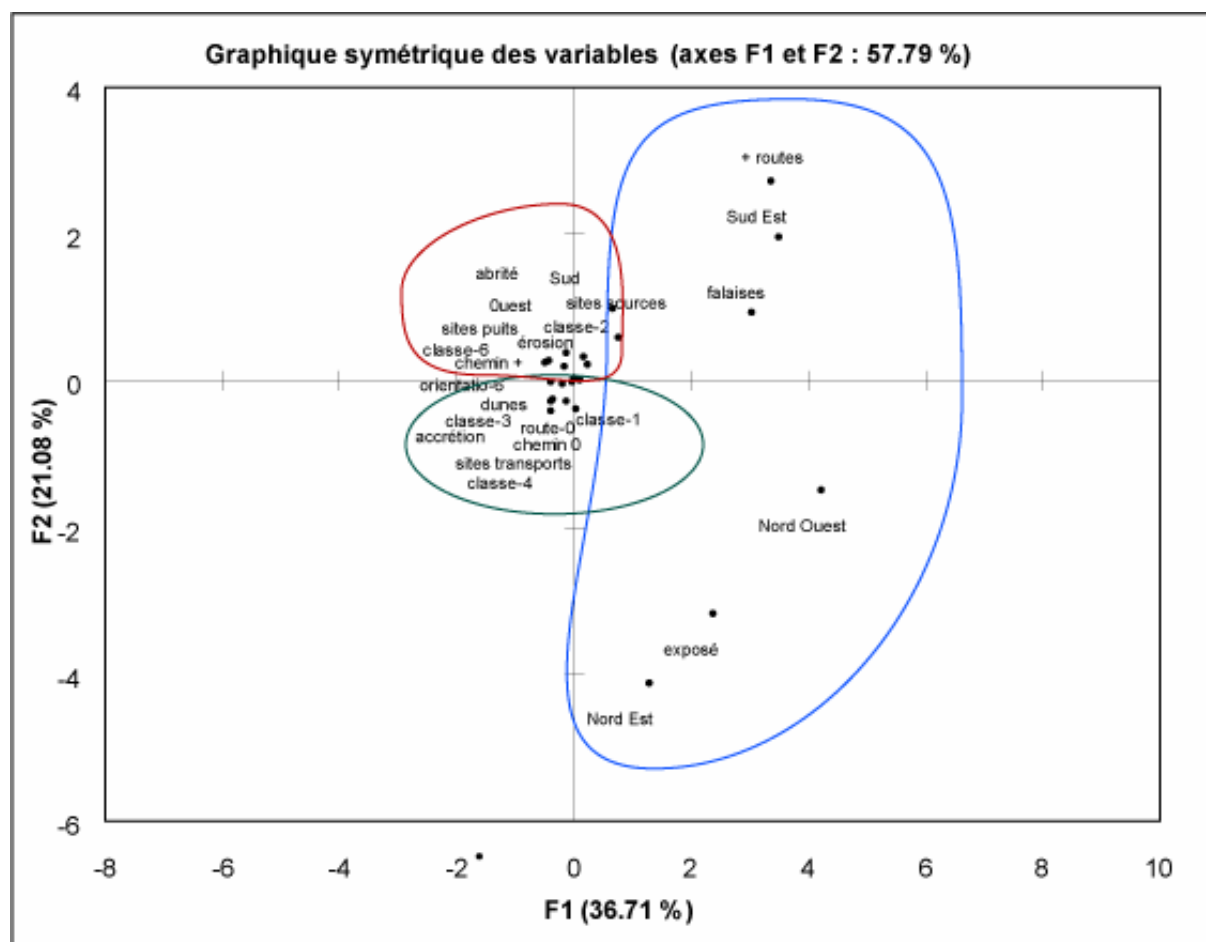


Figure II.17: Représentation graphique des axes factoriels 1 et 2 issus de l'ACM effectuée sur la table attributaire associée aux mouvements du trait de côte au sein du massif dunaire entre 2000 et 2004.

### La classification ascendante hiérarchique

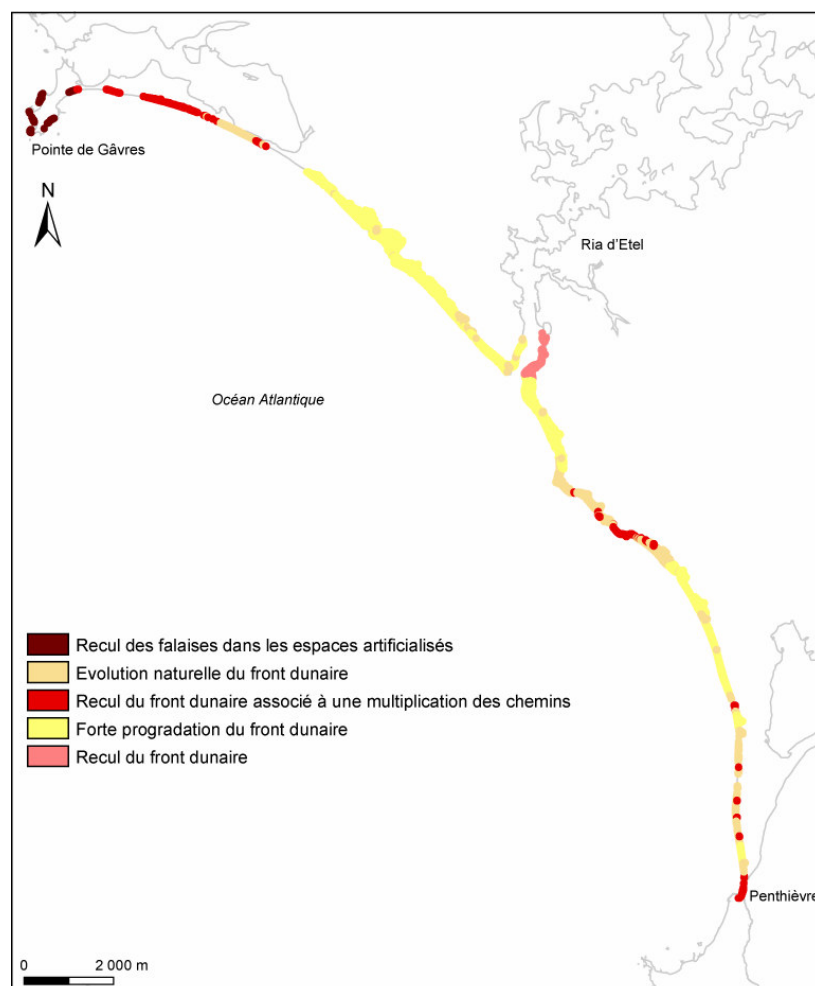
La CAH réalisée à partir des coordonnées des individus sur les deux axes du plan factoriel a permis de dégager cinq classes. Les variances intra-classe et inter-classe sont respectivement de 9.36% et 90.64%. La position des objets centraux associés à chaque classe sur les axes factoriels est indiquée dans le tableau II.17.

Classe	Coordonnées sur l'axe 1	Coordonnées sur l'axe 2
1	0.658	-2.052
2	1.118	0.809
3	-0.268	-0.055
4	0.106	0.308
5	2.473	-0.830

Tableau II.17: Position des objets centraux dans le plan factoriel (Massif dunaire - 2000/2004)

La classe 1 représente les individus dont la position sur le plan factoriel est définie par des coordonnées positives sur F1 et négatives sur F2 (Tableau II.17). Cet ensemble regroupe les sites orientés Ouest et Sud, localisés en situation d'abris et marqués par un recul du front dunaire. Ces sites sont associés à des mouvements importants du trait de côte entre 2000 et 2004.

La classe 2 regroupe les sites associés à une augmentation des surfaces artificialisées, marqués par le recul des falaises dans les sites sources.



Carte II.40 : Répartition spatiale des classes issues de la CAH : analyse des variables contrôlant l'évolution du massif dunaire entre 2000 et 2004

Ces sites ont des coordonnées positives sur les deux axes factoriels. Ils correspondent à des types de comportement mis en évidence par l'axe 1.

La classe 3 associe des sites dont les coordonnées sont négatives sur les deux axes (Tableau II.17). Elle regroupe des sites marqués par une progradation du front dunaire, dans les sites de transports, parallèlement à l'implantation de chemins côtiers dans les dunes. Elle est bien représentée au centre et au Sud du massif dunaire (Carte II.40).

La classe 4 regroupe les individus proches de l'origine au sein du plan factoriel (Tableau II.17). Ces individus correspondent à des sites où l'évolution du front dunaire est associée à une augmentation du nombre de chemins côtiers et à l'occurrence de processus érosifs. Ces sites correspondent à un type de comportement mis en évidence à partir de l'analyse de l'axe 2 de l'ACM. Ils sont regroupés dans trois espaces au Nord, au centre et au Sud du massif dunaire (Carte II.40) correspondant respectivement à des sites sources, des sites de transports et des sites puits (Carte II.12).

La classe 5 regroupe des individus dont les coordonnées sont fortement positives sur les deux axes. Ils sont caractérisés par une progradation du front dunaire entre 2000 et 2004.

Les résultats des CAH permettent d'identifier différentes classes de sites, correspondant aux types d'évolution géomorphologique mis en évidence par la combinaison des variables sur les axes factoriels. Les classes 2 et 4 mettent l'accent sur les secteurs au sein desquels le recul du trait de côte est associé à des variables décrivant des contraintes à la fois naturelles et anthropiques. Au sein de la classe 2, ces sites sont majoritairement situés à l'aval des courants de dérives littorales, au sein des dunes. Au sein de la classe 4, ils correspondent aux falaises en érosion. Au sein des classes 1 et 3, les processus d'érosion et d'accrétion sont associés à des contraintes naturelles. D'une manière générale, la comparaison entre les cartes II.40 et II.1e suggère que la classification surestime les processus d'accrétion. Plusieurs éléments peuvent être avancés pour expliquer ce phénomène : les deux premiers axes factoriels n'expliquent que 57.79% de la variance et de nombreuses variables projetées sur les axes sont proches de l'origine. Ces deux points permettent de supposer que la classification opérée a regroupé des sites, proches sur les deux axes factoriels étudiés, mais éventuellement plus éloignés les uns des autres dans un espace composé de dimensions supplémentaires. Par ailleurs, les variables « érosion » et « accrétion » sont toutes situées à proximité de l'origine. De ce fait, des sites caractérisés par un recul du trait de côte ont pu être assimilés à la classe décrivant une progradation du massif dunaire.

Synthèse :

Pour chaque pas de temps, l'analyse des axes factoriels permet d'identifier des types d'évolution géomorphologique en mettant en évidence des associations significatives de variables résultant de la combinaison d'un type de mouvement du trait de côte avec différents types de contraintes. D'une manière générale, l'évolution du trait de côte entre 1952 et 2004 résulte de l'action combinée de contraintes anthropiques et naturelles.

Sur l'ensemble des pas de temps étudiés, la position dans la cellule sédimentaire, le type de morphologie, l'orientation du trait de côte et à une échelle plus fine la situation d'abri caractérisant chaque polygone expliquent dans une large mesure les variations du trait de côte. Les sites en érosion sont associés aux sites sources et aux falaises, alors que les sites puits sont associés aux dunes en accrétion. Ce premier confirme les résultats des analyses spatiales. De plus, les contraintes anthropiques interviennent également dans la définition des deux premiers axes factoriels et contribuent à expliquer les mouvements non expliqués par les contraintes naturelles. Ainsi, sur les périodes 1952-1985, 1985-1999 et 2000-2004, les contraintes anthropiques sont associées au recul des falaises dans les sites sources. Sur la période 1952 – 2004, l'augmentation du nombre de chemins côtiers est associée au recul du front dunaire dans les sites de transports. Ce phénomène est également observé sur les périodes 1999-2000. Enfin, sur les périodes 1999-2000 et 2000-2004, l'érosion du front dunaire, dans les sites puits, est associée à une augmentation des pressions anthropiques.

Les CAH complètent cette analyse en identifiant les individus concernés par ces associations de variables et en permettant leur cartographie. Au cours des différents pas de temps étudiés, certains types de comportements sont récurrents. Les comportements résultant de contraintes naturelles sont bien représentés et concernent, selon les pas de temps, davantage des processus d'érosion (1952/1984) ou d'accrétion (1984/1999). Par ailleurs, l'artificialisation du littoral entre les années 1950 et 1990, mise en évidence par l'analyse statistique univariée, est confirmée puisque sur les pas de temps 1952-1984 et 1984-1999, les sites associés à une forte artificialisation sont bien représentés et forment des classes d'individu à part entière. Les types évolutions géomorphologiques associés à ces sites contribuent soit au recul, soit à l'avancée du trait de côte. Mais d'une manière générale, les surfaces en mouvement caractérisant ces sites sont plus importantes que dans les secteurs où l'artificialisation du littoral est moindre ou inexistante. Enfin, sur de nombreux pas de temps, les évolutions définies par une combinaison de contraintes naturelles et anthropique concernent l'érosion des falaises de la pointe de Gâvres (1952-2004 / 2000-2004), le recul du front dunaire dans les sites de transport (1952-2004/1999-2000) ou le recul du front dunaire dans les sites puits (2000/2004). Sur le pas de temps 1985-1999, elles concernent une progression du front dunaire.



D'une manière générale, l'ensemble des analyses statistiques réalisées confirme les résultats apportés par l'analyse spatiale en mettant en évidence différents types d'associations statistiques de variables. La comparaison des cartes issues de l'analyse des relations de voisinages et de celles issues des CAH permet de vérifier que ces associations statistiques correspondent globalement aux associations spatiales. Ce dernier point contribue à renforcer les hypothèses discutées à l'issue de ces différentes analyses et souligne l'occurrence de différentes logiques expliquant la répartition spatiale des sites en érosion et en accrétion. A l'échelle du massif dunaire, les principaux schémas de transport sédimentaire contrôlés par les courants de dérives littorales expliquent dans une large mesure la distribution des sites marqués par un recul ou une avancée du front dunaire. A une échelle plus locale, l'évolution des formes littorales est également associée à certains types de contraintes anthropiques.

### III.2.2. La baie de Quiberon

#### **III.2.2.a. Analyse sur le temps long : 1952 - 2004**

##### L'analyse des correspondances multiples :

L'ACM effectuée à partir de la table attributaire associée aux mouvements du trait de côte entre 1952 et 2004 a permis de dégager plusieurs axes factoriels, dont les deux premiers expliquent 73.73 % de la variance totale (Figure II.18).

Le premier axe explique 39.84% de l'information totale. Il est défini par les variables : mouvement du trait de côte (érosion/accrétion), position dans la cellule sédimentaire (site source/site de transport/site puits), morphologie (falaise/dune/schorre/végétation continentale), exposition aux vents et à la houle (abrité/exposé), augmentation du nombre de chemins côtiers (absence/présence). Ce premier axe permet d'associer les surfaces couvertes par le schorre en accrétion situées dans les sites puits, et abritées dans des secteurs orientés Nord – Est. Il permet également d'individualiser un second ensemble regroupant les falaises en érosion, situées dans les sites sources, et les dunes en érosion, situées dans les sites de transports et associées à une augmentation du nombre de chemins côtiers et des surfaces bâties. Ce premier axe permet ainsi d'expliquer le type de mouvement enregistré par le trait de côte : **les processus d'érosion et d'accrétion sont expliqués en fonction du type d'entité morphologique et de leur localisation dans la cellule sédimentaire.**

Le second axe explique 33.89% de la variance totale. Il est défini **par des variables renvoyant à des contraintes à la fois naturelles et anthropiques dont les plus déterminantes** sont : l'augmentation des surfaces bâties (absence/présence), la morphologie (dune/schorre), la position dans la cellule sédimentaire (sites source/site de transport), la situation d'abri (abrité/exposé) dans les secteurs d'orientation principalement Nord Est, Sud et Nord-Ouest. Il met en évidence l'existence de processus érosifs au niveau des schorres situés en position d'abri et une forte augmentation des pressions anthropiques au niveau des dunes situées dans les sites de transport.

L'axe trois n'apporte des informations que sur les mouvements résiduels du trait de côte. Il est toutefois intéressant de noter que ces mouvements résiduels sont fortement caractérisés par une augmentation des pressions anthropiques associées au recul des schorres et des fronts dunaires situés dans les sites de transport.

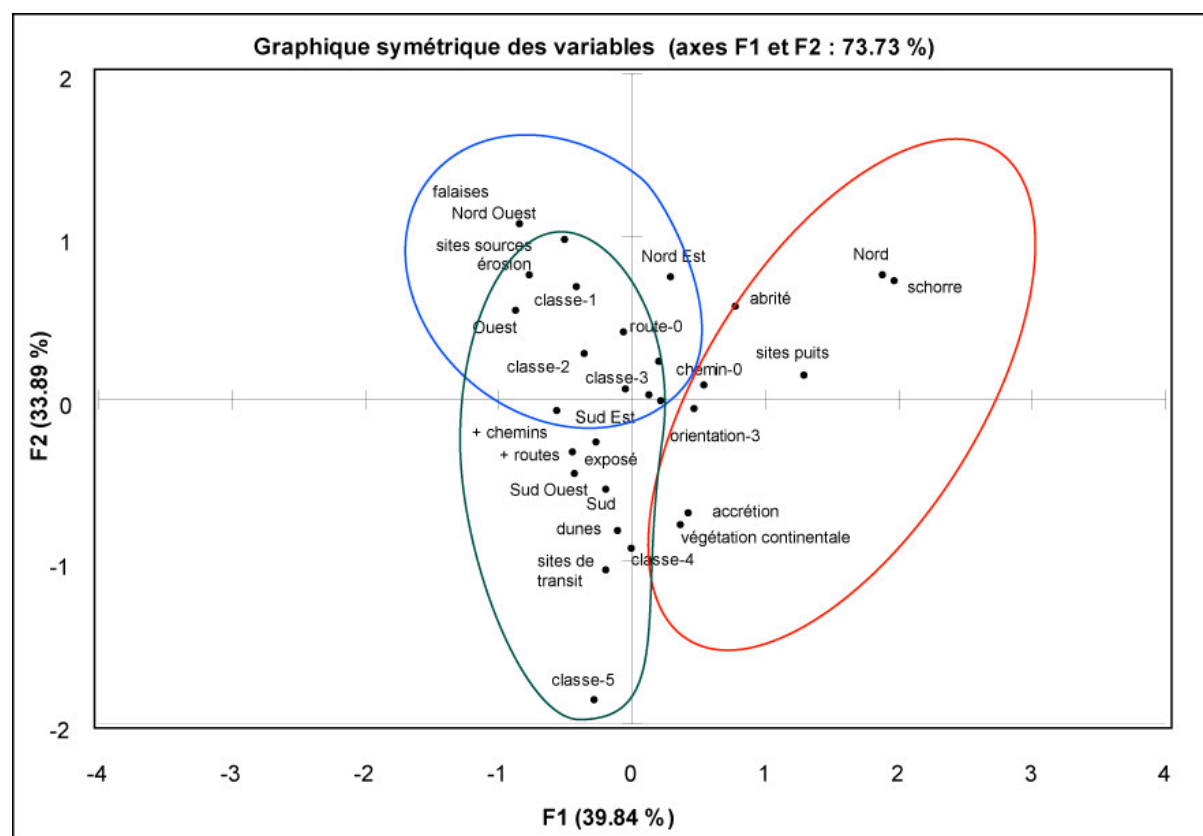


Figure II.18: Représentation graphique des axes factoriels 1 et 2 issus de l'ACM effectuée sur la table attributaire associée aux mouvements du trait de côte au sein de la baie de Quiberon entre 1952 et 2004.

Ainsi de manière générale, les mouvements enregistrés par le trait de côte sont expliqués par des contraintes naturelles associant le type d'entité morphologique et la position dans la cellule sédimentaire.

En outre, certains processus d'érosion sont associés à une augmentation des contraintes anthropiques, telles que sur les falaises situées dans les sites sources (axe 1) ou les surfaces couvertes par les dunes et le schorre dans les sites puits (axe 3).

### La classification ascendante hiérarchique

La CAH effectuée à partir des coordonnées des individus sur les axes factoriels a permis de distinguer cinq classes. La variance intra-classe est égale 11.49% et la variance inter-classe à 88.51%. La position des objets centraux sur les axes factoriels est indiquée dans le tableau II.18.

Classe	Coordonnées sur l'axe 1	Coordonnées sur l'axe 2
1	0.326	0.039
2	0.008	-0.662
3	0.484	- 0.585
4	-0.256	-0.277
5	1.155	0.406

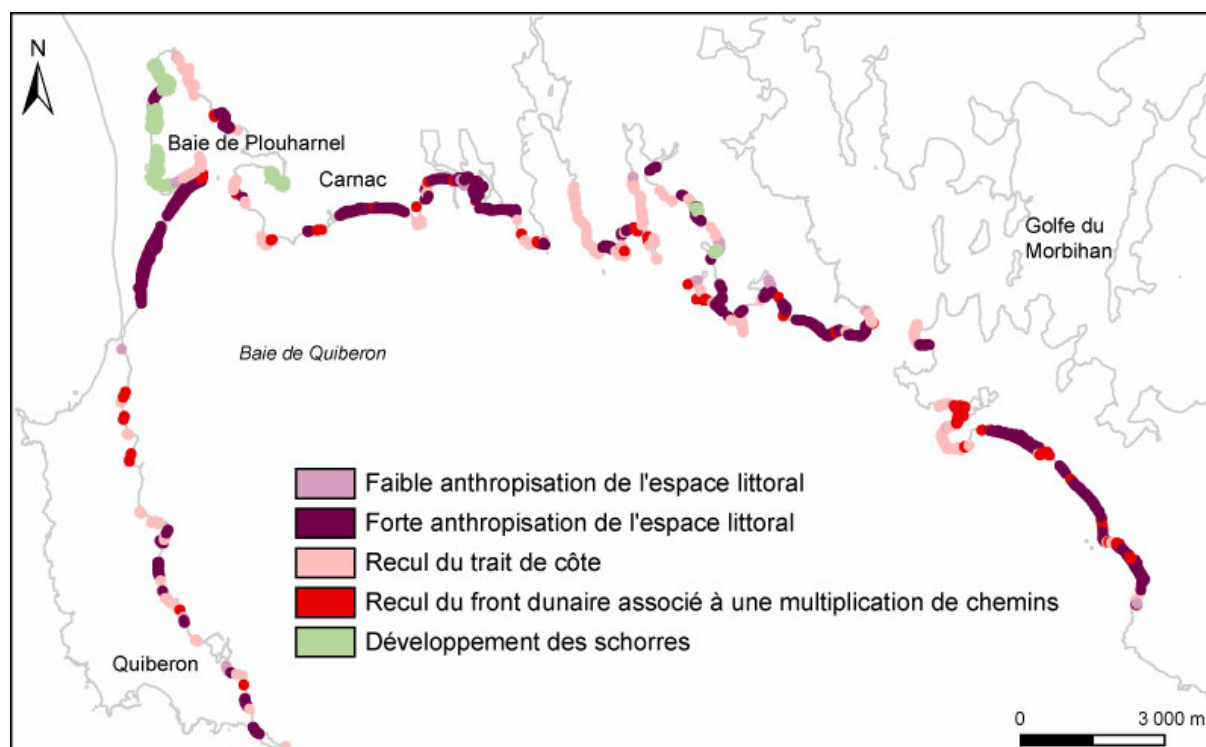
*Tableau II.18 : Position des objets centraux dans le plan factoriel (Baie de Quiberon - 1952/2004)*

La classe 1 regroupe les sites situés au sein des massifs dunaires, dans les sites de transports. Ils sont associés à une faible augmentation des contraintes anthropiques. Ces sites correspondent à des individus caractérisés, sur le plan factoriel, par des coordonnées positives sur l'axe 1 et l'axe 2 (Tableau II.18).

A l'inverse, la classe 2 regroupe des sites marqués par une forte augmentation des contraintes anthropiques entre 1952 et 2004. Ces contraintes anthropiques concernent aussi bien l'artificialisation des surfaces que l'implantation de chemins côtiers. Ces sites sont concentrés au Sud de la baie de Plouharnel, au niveau des plages de Carnac et au Sud-Est du Golfe (Carte II.41).

La classe 3 est composée d'individus dont les coordonnées sont positives sur l'axe 1 et négatives sur l'axe 2. Ces individus correspondent à des sites en recul. Principalement situés dans les sites sources et au niveau des falaises meubles de la baie (Carte II.13), ils concernent également une partie des dunes situées dans les zones de transports (Carte II.13). Ils sont bien représentés le long des rias et sur la façade Est de la baie (Carte II.41).

Les individus composant la classe 4 sont caractérisés par des coordonnées négatives sur les deux axes (Tableau II.18). Dispersés au sein de la baie (Carte II.41), ces individus correspondent à des sites marqués par un recul important du front dunaire, associé à multiplication de chemins côtiers.



*Carte II.41: Répartition spatiale des classes issues de la CAH : analyse des variables contrôlant l'évolution de la baie de Quiberon entre 1952 et 2004*

La classe 5 regroupe des individus dont les coordonnées sont positives sur les deux axes (Tableau II.18). Ils correspondent à des sites situés au sein des surfaces couvertes par les schorres, en position abritée au sein des sites puits, notamment dans la baie de Plouharnel (Carte II.41). L'analyse de l'axe 1 a mis en évidence que ces sites sont associés à une avancée du trait de côte.

La CAH permet de compléter les résultats de l'ACM en identifiant certains sites associés au type d'évolution morphologique mise en évidence par l'analyse des axes factoriels. De plus, les résultats confirment la forte anthropisation de l'espace sur le pas de temps 1952 – 2004. Les sites associés à une augmentation des contraintes anthropiques sont nombreux et dispersés au sein de la baie. Ils sont aussi bien associés à des mouvements de recul que des mouvements d'avancée du trait de côte, notamment au sein des massifs dunaires. Ailleurs, l'évolution des sites situés sur les falaises ou au sein des surfaces couvertes par les schorres est essentiellement contrôlée par des contraintes naturelles.

**III.2.2.b. Analyse sur les pas de temps intermédiaires: 1952 - 1985**L'analyse des correspondances multiples :

Sur la période 1952 – 1985, les deux premiers axes factoriels dégagés par l'ACM expliquent 72.63% de la variance totale (Figure II.19).

Le premier axe explique 46.27% de l'information contenue dans la base de données attributaires. Il est défini par les variables: morphologie (falaise/dune), position dans la cellule sédimentaire (site source/site de transport/site puits), degré d'exposition (abrité/exposé), augmentation du nombre de chemins côtiers et des surfaces bâties (présence/absence), mouvement du trait de côte (érosion/accrétion) et certains secteurs d'orientation. Il permet d'associer les falaises et les dunes en érosion situées dans les sites sources et les sites de transports, marqués par une augmentation des pressions anthropiques et enfin, les surfaces couvertes par les schorres en accrétion, situées en position d'abri dans les sites puits. Une part importante des variations du trait de côte est expliquée par la combinaison de variables renvoyant à des contraintes naturelles et anthropiques.

Le second axe explique 26.36% de la variance totale. Il est défini à partir des variables : augmentation du nombre de chemins côtiers (absence/présence), augmentation des surfaces bâties (absence/présence), morphologie (falaise/dune), position dans la cellule sédimentaire (site source/site de transport/site puits), orientation du trait de côte et certaines classes décrivant l'ampleur des mouvements du trait de côte.

Il permet d'opposer les dunes en accrétion situées dans les sites puits et associées à une augmentation des pressions anthropiques aux falaises en érosion situées dans les sites sources.

Sur ce pas de temps, les variations du trait de côte sont principalement expliquées par l'action combinée des contraintes naturelles et anthropiques. La progradation des schorres résulte des logiques d'accrétion à l'œuvre dans les sites puits. Le recul des falaises dans les sites sources est contrôlé à la fois par des contraintes morphologiques et anthropiques (augmentation du nombre de chemins côtiers). De même, l'évolution des dunes dans les sites de transit est associée à une augmentation des pressions anthropiques, elle-même associée à une érosion (axe 1) et une accrétion (axe 2) du front dunaire.

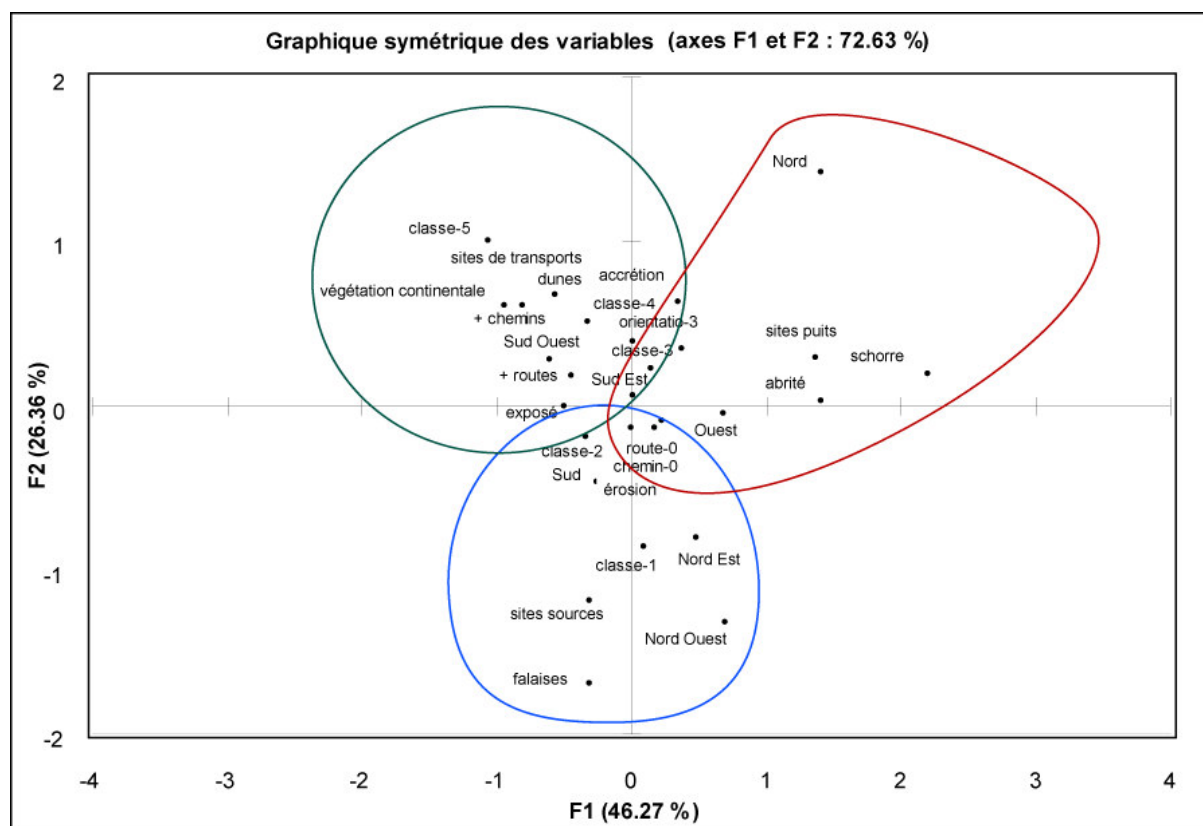


Figure II.19: Représentation graphique des axes factoriels 1 et 2 issus de l'ACM effectuée sur la table attributaire associée aux mouvements du trait de côte au sein de la baie de Quiberon entre 1952 et 1985.

### La classification ascendante hiérarchique

La CAH effectuée à partir des coordonnées des individus sur les axes a permis de distinguer quatre classes. La variance intra-classe est égale 12.96% et la variance inter-classe à 87.04%. La position des objets centraux sur les axes factoriels est indiquée dans le tableau II.19.

La classe 1, associée à des individus dont les coordonnées sont positives sur les deux axes (Tableau II.19), regroupe des sites localisés au sein des surfaces couvertes par les schorres, localisées en situation d'abri. Les analyses des variations du trait de côte (Carte II.2b) soulignent que les processus d'accrétion dominant sur ce pas de temps au sein des surfaces couvertes par les schorres.

Classe	Coordonnées sur l'axe 1	Coordonnées sur l'axe 2
1	0.133	1.009
2	0.679	-0.312
3	-0.666	-0.208
4	0.148	-0.255

Tableau II.19 : Position des objets centraux dans le plan factoriel (Baie de Quiberon - 1952/1985)

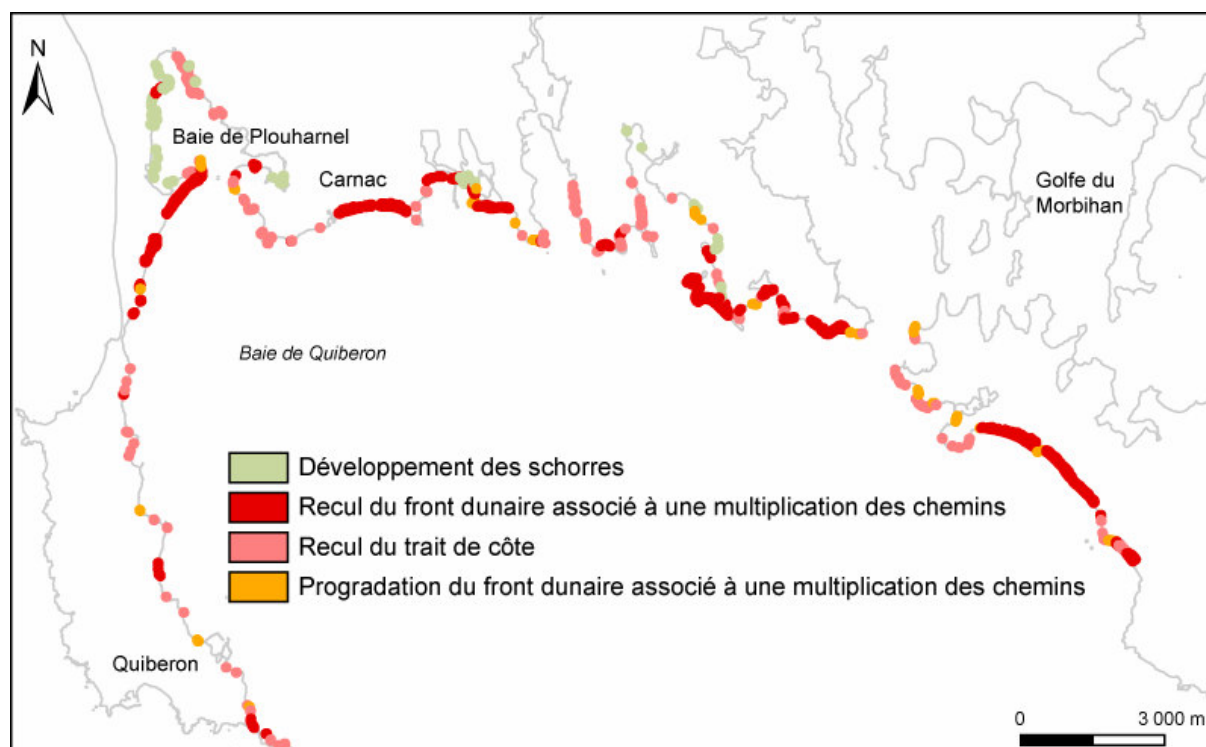
Ces évolutions paraissent indépendantes des variables associées aux forçages anthropiques étudiés. Elles sont bien représentées dans la baie de Plouharnel et au fond des rias (Carte II.42).

Au sein de la classe 2, les coordonnées des objets centraux sont égaux à environ 0.6 sur l'axe 1 et -0.3 sur l'axe 2 (Tableau II.19). Cette région du plan factoriel est associée à des variables décrivant une augmentation des contraintes anthropiques (surfaces artificialisées et chemins) au sein des dunes situées dans les sites de transports, dans une moindre mesure dans les sites puits. L'analyse de l'axe 1 a permis de mettre en évidence que ces sites sont caractérisés par un recul du trait de côte. Cette classe représente ainsi des sites marqués par un recul du front dunaire associés à des contraintes naturelles et anthropiques. Ces sites sont bien représentés au niveau des plages de Carnac et des plages situées au Sud-Est du Golfe (Carte II.42).

La classe 3 regroupe les individus caractérisés par des valeurs négatives sur les deux axes factoriels (Tableau II.19). Cette région du plan factoriel est associée à des variables décrivant un recul du trait de côte dans les sites sources et les sites de transports, indépendamment de l'augmentation des pressions anthropiques dans les sites sources. Reprenant une information contenue dans l'axe 1, cette classe permet d'identifier des sites dont le recul résulte de contraintes essentiellement naturelles. Elle concerne les falaises des rias et de la pointe du grand Mont, ainsi que la façade Est de la baie (Carte II.42).

La classe 4 est associée à des individus dont les coordonnées sont faiblement positives sur l'axe 1 et négatives sur l'axe 2. Elle regroupe les sites marqués par une progression du front dunaire entre 1952 et 1985, dans les sites de transports. L'analyse de l'axe 2 a montré que la progression du front dunaire, dans les sites de transports est associée à une augmentation du nombre de chemins côtiers. Ils sont peu nombreux sur ce pas de temps (Carte II.42).

Ainsi l'importance de l'imbrication des contraintes naturelles et anthropiques, sur le pas de temps 1952-1985, mise en évidence par l'analyse des axes factoriels se retrouve en partie à travers la partition des sites étudiés en quatre classes. Les regroupements effectués permettent d'identifier les sites associés aux différentes combinaisons de variables résultant de l'ACM et de préciser les comportements géomorphologiques associés à chacun d'eux.



Carte II.42: Répartition spatiale des classes issues de la CAH : analyse des variables contrôlant l'évolution de la baie de Quiberon entre 1952 et 1985

### III.2.2.c. Analyse sur les pas de temps intermédiaires: 1985 - 2004

#### L'analyse des correspondances multiples :

Sur la période 1985 – 2004, les deux premiers axes factoriels dégagés par l'ACM expliquent 75.16% de la variance totale (Figure II.20).

Le premier axe explique 43.66% de l'information totale contenue dans la table attributaire. Il est défini par des variables renvoyant à des contraintes naturelles, telles que la morphologie (falaise/dune/schorre), la localisation dans la cellule sédimentaire (site source/site de transport/site puits), le type de mouvement du trait de côte (érosion/accrétion) ; l'orientation (Nord Est et Ouest essentiellement), et certaines classes décrivant l'ampleur de ces mouvements. Il permet d'opposer les falaises en érosion, orientées Nord Est, situées dans les sites sources et caractérisées par des reculs de faibles ampleurs, aux dunes et aux schorres, en accrétion sur de grandes surfaces et localisées dans les sites de transports et dans les sites puits. Autrement dit, **ce premier axe explique la répartition des sites en érosion et en accrétion en faisant intervenir des contraintes naturelles.**



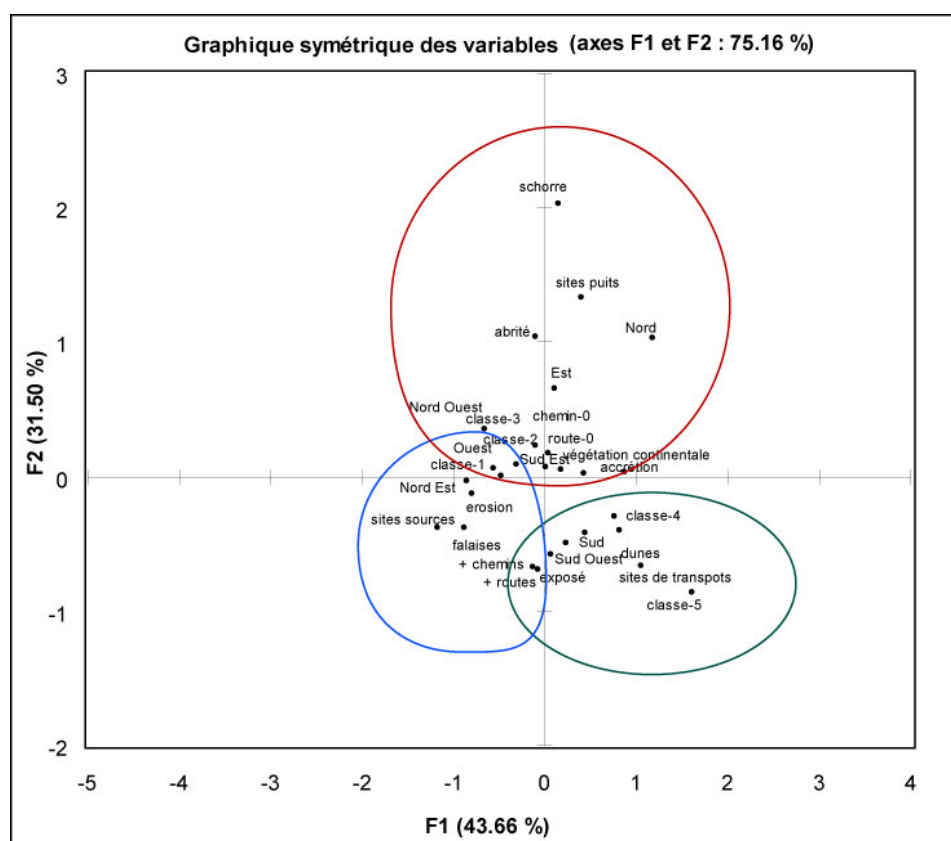


Figure II.20: Représentation graphique des axes factoriels 1 et 2 issus de l'ACM effectuée sur la table attributaire associée aux mouvements du trait de côte au sein de la baie de Quiberon entre 1985 et 2004.

Le deuxième axe explique 31.50% de la variance totale. Il est défini par des variables renvoyant à des contraintes naturelles – degré d'exposition/ morphologie/ position dans la cellule sédimentaire – et des variables renvoyant à des contraintes anthropiques – augmentation des surfaces bâties et du nombre de chemins côtiers –. Il met en évidence une augmentation des pressions anthropiques entre 1985 et 2004 dans les sites de transports et dans les sites sources. L'évolution des schorres dans les sites puits paraît plus indépendante des pressions anthropiques exercées sur le littoral.

D'une manière générale, sur la période 1985 – 2004, **l'évolution du trait de côte est contrôlée par des contraintes naturelles**. L'anthropisation de l'espace littoral reste importante, notamment dans les sites sources et dans les sites de transports, mais elle n'est pas associée à des mouvements spécifiques du trait de côte.

#### La classification ascendante hiérarchique

Quatre classes ont été identifiées à partir de la CAH effectuée sur les coordonnées des individus sur les axes F1 et F2.

La variance intra-classe est égale 16.56% et la variance inter-classe à 83.54%. La position des objets centraux sur les axes factoriels est indiquée dans le tableau II.20.

Classe	Coordonnées sur l'axe 1	Coordonnées sur l'axe 2
1	-0.312	0.281
2	-0.179	-0.906
3	1.297	0.099
4	0.512	0.223

*Tableau II.20 : Position des objets centraux dans le plan factoriel (Baie de Quiberon - 1985/2004)*

La classe 1 regroupe des individus dont la position sur le plan factoriel est définie par des coordonnées négatives sur l'axe 1 et positives sur l'axe 2 (Tableau II.20). Ces individus correspondent à des sites marqués par une progression du front dunaire dans les sites de transports et les sites puits, majoritairement exposé Sud et Sud-Ouest. Alimentés par les courants de dérive littorale, la progradation du front dunaire, dans ces sites, est essentiellement associée à des contraintes naturelles. Cette classe permet d'identifier les sites associés à ce type d'évolution géomorphologique, également mis en évidence, par ailleurs, par l'analyse de l'axe 1. Elle concerne une grande part des plages de la baie (Carte II.43).

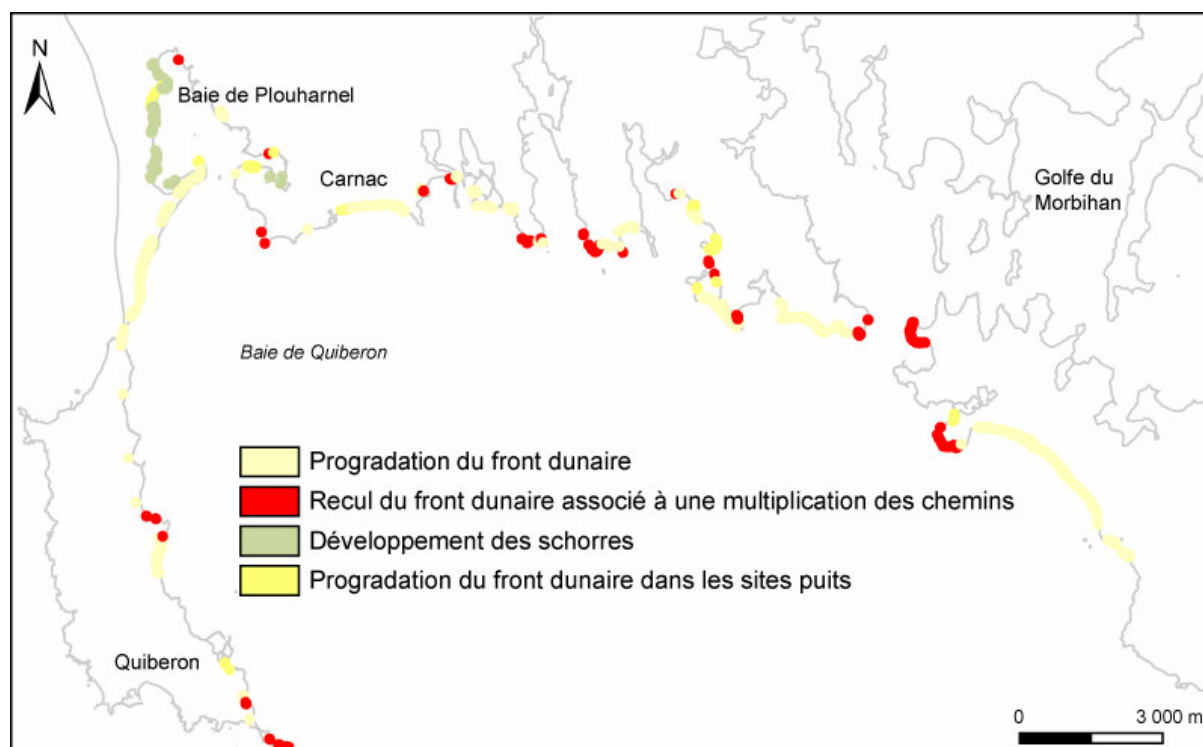
La classe 2 est caractérisée par des individus dont les coordonnées sont négatives sur les deux axes factoriels. Ce sont des falaises en érosion situées dans les sites sources et associées à une augmentation des surfaces artificialisées et du nombre de chemins côtiers.

Cette classe regroupe ainsi des sites dont l'évolution, marquée par l'occurrence de processus érosifs, résulte d'une association entre des contraintes naturelles et anthropiques. Elle concerne également quelques poches d'érosion au sein des massifs dunaires (Carte II.43). Elle est peu représentée sur ce pas de temps.

La classe 3 est associée à des individus dont les coordonnées sont positives sur les deux axes factoriels (Tableau II.20). Elle met en évidence la progression des schorres dans les sites puits, indépendamment de l'augmentation des contraintes anthropiques enregistrées sur ce pas de temps. Ces sites sont bien représentés au niveau de la baie de Plouharnel (Carte II.43).

La classe 4 est également associée à des individus ayant des coordonnées positives sur les deux axes. Ces sites sont principalement caractérisés par une progression du front dunaire dans les sites puits.

La combinaison des résultats obtenus par les ACM et les CAH permet de distinguer, au sein de la baie de Quiberon, différents secteurs dont l'évolution géomorphologique est associée soit à des contraintes naturelles, soit à une combinaison entre contraintes naturelles et anthropiques. Les processus érosifs concernent un nombre de sites peu important (Carte II.43), et sont associés à des contraintes naturelles et anthropiques.



Carte II.43: Répartition spatiale des classes issues de la CAH : analyse des variables contrôlant l'évolution de la baie de Quiberon entre 1985 et 2004

### Synthèse

Au sein de la baie de Quiberon, l'évolution du trait de côte entre 1952 et 2004 est associée par des contraintes naturelles auxquelles s'ajoute sur certains pas de temps l'action de contraintes anthropiques exercées sur le littoral.

Sur l'ensemble des pas de temps étudiés, l'analyse factorielle a permis d'identifier les variables expliquant la distribution statistique des sites étudiés. La position dans la cellule sédimentaire et le type de morphologie caractérisant chaque polygone sont fortement associés aux variations du trait de côte. Les sites en érosion sont associés aux sites sources et aux falaises, alors que les sites puits sont associés aux dunes et aux schorres.

Ces associations de variables indiquent que les variations du trait de côte observées au sein de la baie de Quiberon résultent principalement de l'action des contraintes naturelles, telle que des contraintes morphologiques ou la position des sites par rapport aux schémas de transports sédimentaires. Ce premier point rejoint les observations réalisées à l'issue des analyses spatiales. Par ailleurs, les contraintes anthropiques interviennent également dans la définition des premiers axes factoriels. Sur la période 1952 – 2004, l'augmentation du nombre de chemins côtiers et des surfaces artificialisée est associée, d'une part, au recul des falaises dans les sites sources, et d'autre part au recul des dunes et des schorres dans les sites puits. Sur la période 1952 – 1985, l'évolution des dunes dans les sites de transports est associée à une augmentation des pressions anthropiques. A l'inverse, sur la période 1985 – 2004, l'évolution du trait de côte paraît indépendante des pressions anthropiques exercées sur le littoral.

Les résultats obtenus par les CAH permettent de préciser l'interprétation des axes factoriels et d'identifier les individus contribuant à l'association statistique des variables mis en évidence par les axes 1 et 2. L'ensemble des sites participant à la définition des axes factoriels est divisé en différentes classes représentant des modes d'évolution géomorphologique distincts. Certains types de d'évolution sont identifiés sur les trois pas de temps étudiés, tel que le développement des schorres dans les sites puits, en position abrités ou le recul des falaises. De plus, sur les trois pas de temps, l'augmentation des contraintes anthropiques concernent essentiellement les secteurs situés au sein des massifs dunaires. Sur le pas de temps 1952-1985, l'augmentation du nombre de chemins côtiers est associée à un mouvement de recul du front dunaire dans les sites sources et les sites de transports. D'une manière générale, ces modes de comportement géomorphologiques sont cohérents avec les résultats obtenus à partir des analyses spatiales. La comparaison des cartes issues de l'analyse des relations de voisinage et celles issues des CAH permet d'identifier les mêmes dynamiques, intervenant à différentes échelles, pour expliquer l'évolution du trait de côte. A l'échelle de la baie, les contraintes naturelles, définie par les notions de cellules sédimentaires, et les contraintes morphologiques explique dans une large mesure la distribution des sites en érosion et en accrétion. A une échelle plus fine, la localisation des sites en érosion et en accrétion apparaît également liée à certaines contraintes anthropiques.

### III.2.3. La presqu'île de Rhuys – Secteur Suscinio

#### **III.2.3.a. L'analyse sur le temps long : 1952 - 2004**

##### L'analyse en composantes multiples

L'ACM effectuée à partir du tableau de données représentant les mouvements du trait de côte entre 1952 et 2004 a permis de dégager plusieurs axes factoriels, dont les deux premiers expliquent 47.88 % de la variance totale (Figure II.21).

Le premier axe explique 30.83% de l'information totale. Il est défini par les variables : morphologie (falaise/dune), position dans la cellule sédimentaire (site source/site de transits) et type de mouvement du trait de côte (érosion/accrétion), orientation (Sud/Nord-Ouest) et augmentation des surfaces bâties (absence/présence). Il permet d'opposer les falaises en érosion, exposées Nord-Ouest, situées dans les sites sources et associées à une augmentation des surfaces bâties aux dunes en accrétion, exposées Sud et situées dans les sites de transport. **Ce premier axe met ainsi en relation les mouvements du trait de côte avec des contraintes naturelles, et dans une moindre mesure anthropiques.**

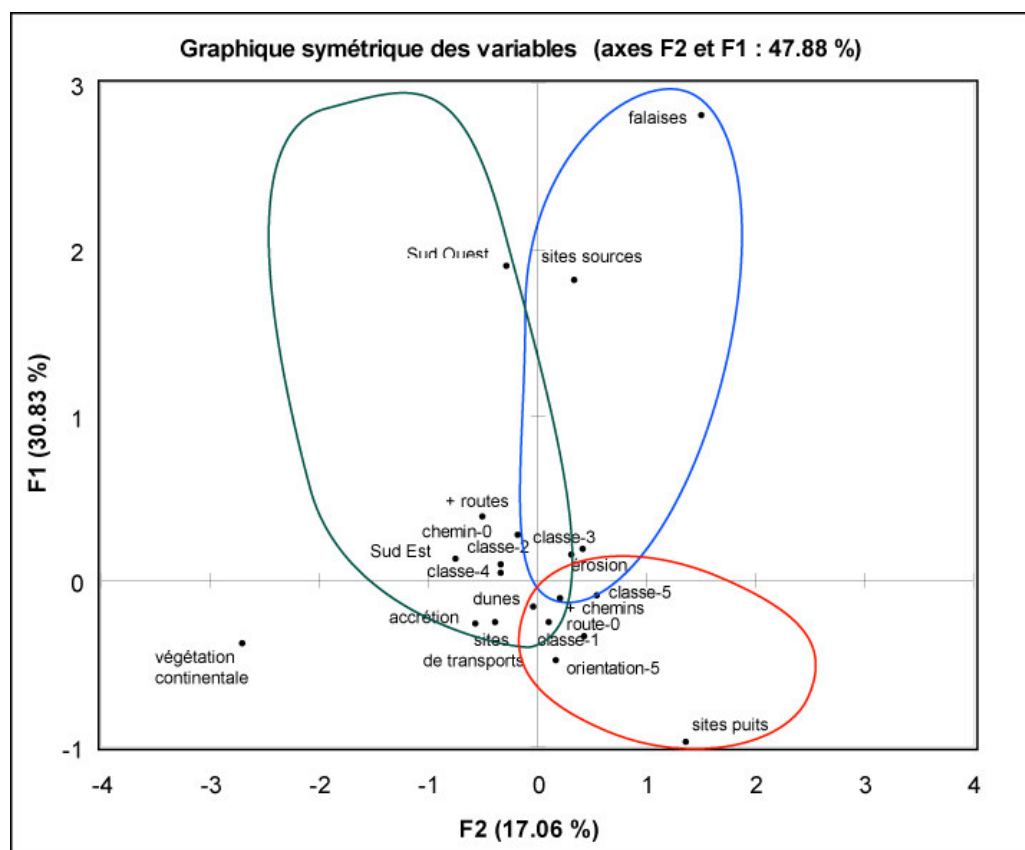


Figure II.21: Représentation graphique des axes factoriels 1 et 2 issus de l'ACM effectuée sur la table attributaire associée aux mouvements du trait de côte au sein de la presqu'île de Rhuys entre 1952 et 2004.

Le deuxième axe explique 17.06% de la variance totale. Il est défini par les variables : augmentation des surfaces bâties (absence/présence), augmentation du nombre de chemins (absence/présence), morphologie (falaise/végétation continentale), position dans la cellule sédimentaire (site de transport/site puits) et type de mouvement du trait de côte (érosion/accrétion). Il met en opposition les falaises en érosion associées à une augmentation du nombre de chemins côtiers aux secteurs colonisés par une végétation continentale où les surfaces bâties ont augmenté. Cet axe met également en évidence un mouvement de recul du trait de côte dans les sites puits, associé à des pressions anthropiques.

Ainsi, sur la période 1952 – 2004, les variations du trait de côte sont contrôlées par l'action des contraintes naturelles (morphologie – position dans la cellule sédimentaire). En outre, dans les sites sources et les sites puits, le recul du trait de côte est associé à une augmentation des pressions anthropiques.

#### La classification ascendante hiérarchique

Quatre classes ont été identifiées à partir de la CAH effectuée sur les coordonnées des individus sur les axes F1 et F2. La variance intra-classe est égale 26.75% et la variance inter-classe à 73.25%. La position des objets centraux sur les axes factoriels est indiquée dans le tableau II.21.

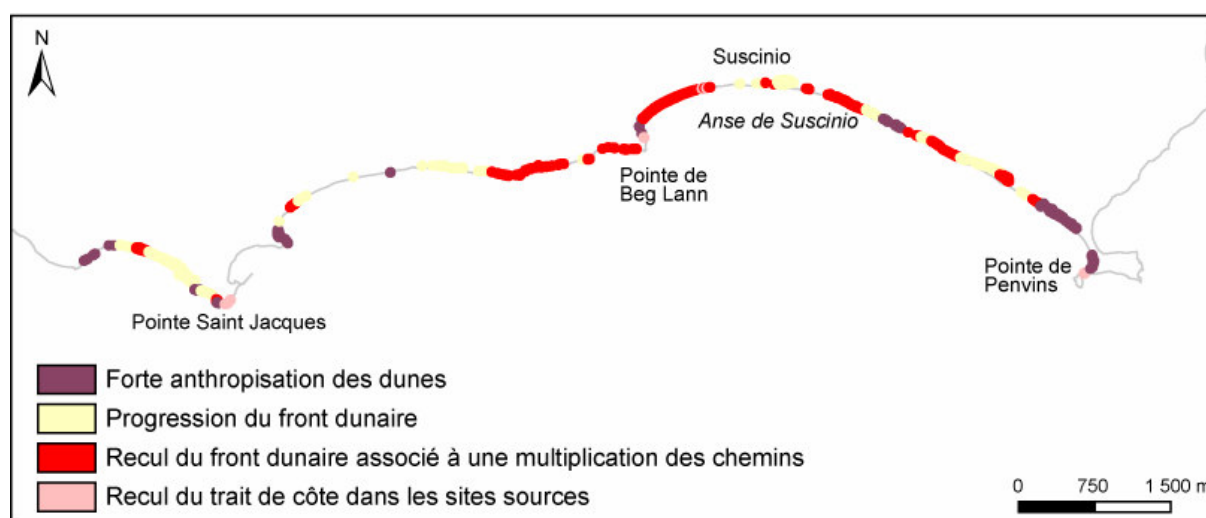
Classe	Coordonnées sur l'axe 1	Coordonnées sur l'axe 2
1	0.603	-0.094
2	-0.121	-0.456
3	-0.317	0.312
4	1.441	0.726

*Tableau II.21 : Position des objets centraux dans le plan factoriel (Presqu'île de Rhuys - 1952/2004)*

La classe 1 regroupe des individus dont les coordonnées sur les axes factoriels sont positives sur l'axe 1 et négatives sur l'axe 2 (Tableau II.21). Sur l'axe 2 les coordonnées des points centraux sont proches de l'origine. Ces individus correspondent à des sites marqués par une augmentation des surfaces artificialisées entre 1952 et 2004. Ils sont orientés Sud-Ouest et Sud-Est.

La classe 2 regroupe les individus dont la position dans le plan factoriel est définie par des coordonnées négatives sur F1 et F2 (Tableau II.21). Les individus situés dans cette région du plan factoriel correspondent à des sites dont l'évolution est marquée par une avancée du trait de côte, et notamment une progradation du front dunaire dans les sites de transport. Ce type d'évolution géomorphologique est mis en évidence par l'axe 1.

La classe 3 est associée à des individus caractérisés par des coordonnées négatives sur l'axe 1 et positives sur l'axe 2 (Tableau II.21). Elle décrit l'évolution du front dunaire dans les sites puits associés à une augmentation du nombre de chemins côtiers. Les informations délivrées par l'analyse de l'axe 2 indiquent que ces sites sont caractérisés par des mouvements de recul du trait de côte. Les sites concernés sont majoritairement situés le long des plages situées à l'Est et à l'Ouest de la pointe de Beg Lann (Carte II.44). La carte II.14 indique que ces sites sont situés dans des sites de transports. Quelques poches de recul associées à une multiplication du nombre de chemins sont également observées au sein de l'anse de Suscinio (Carte II.44), associée à un site puits (Carte II.14).



*Carte II.44: Répartition spatiale des classes issues de la CAH : analyse des variables contrôlant l'évolution de la presqu'île de Rhuys entre 1952 et 2004*

La classe 4 rassemble les individus dont les coordonnées sont positives sur les deux axes factoriels (Tableau II.21). Ces sites correspondent aux falaises en érosion dans les sites sources. L'analyse des axes factoriels a permis de mettre en évidence qu'elles sont associées à une augmentation des surfaces artificialisées. Peu représentés, ils sont localisés au niveau des pointes rocheuses, principalement au niveau de la pointe de Penvins où est actuellement établi un parking (Carte II.44).

La CAH a permis d'identifier les sites concernés par les principaux types d'évolution géomorphologique identifiés à partir de l'analyse des axes factoriels. Trois types de comportements géomorphologiques dominent entre 1952 et 2004 : la progression du front dunaire dans les sites de transports, le recul des falaises et le recul du front dunaire dans les sites puits. Ces deux derniers comportements sont assimilés à des variables décrivant une combinaison de forçages naturels et anthropiques. Enfin, l'importance de l'artificialisation du littoral est soulignée par l'existence d'une classe regroupant les secteurs caractérisés par une augmentation des surfaces artificialisées, indépendamment de leurs évolutions géomorphologiques.

### III.2.3.b. L'analyse sur les pas de temps intermédiaires : 1952 - 1985

#### L'analyse en composantes multiples

Sur la période 1952 – 1985, les deux premiers axes factoriels dégagés par l'ACM expliquent 60.97% de la variance totale (Figure II.22).

Le premier axe explique 43.41% de la variance. Il est défini par les variables : augmentation des surfaces bâties (absence/présence), morphologie (dune/falaise), position dans la cellule sédimentaire (site source/site puits), augmentation du nombre de chemins côtiers (absence/présence), mouvement du trait de côte (érosion/accrétion) et orientation (Nord-Ouest). Il associe les falaises aux sites sources et à une augmentation des contraintes anthropiques exercées sur le littoral à travers l'augmentation des surfaces bâties et du nombre de chemins côtiers. Par ailleurs, il met en évidence l'existence d'un recul important du front dunaire dans les sites de transports et les sites puits. Cet axe contribue à expliquer **le recul des falaises à partir de contraintes naturelles et anthropiques. Le recul du front dunaire dans les sites de transports et dans les sites puits est indépendant des contraintes anthropiques.** Dans les sites de transports, il peut résulter d'un transport sédimentaire *alongshore*. Dans les sites puits, les courants de dérive littorale contribuent, en théorie, à favoriser le dépôt et l'accumulation des sédiments dans les sites puits. Aussi, le recul du trait de côte dans ce type de secteur doit être imputé à d'autres types de forçages.

Le second axe explique 17.06% de l'information totale. Il est défini par les variables : augmentation du nombre de chemins (absence/présence), morphologie (falaise/dune/végétation continentale), type de mouvement du trait de côte (érosion/accrétion). Il oppose les falaises en érosion associées à une augmentation du nombre de chemins côtiers, aux surfaces couvertes par les dunes et la végétation continentale qui prograde dans les sites de transit.

Sur ce pas de temps, les mouvements du trait de côte dans les sites sources sont associés à la fois à des facteurs naturels (position dans la cellule sédimentaire – morphologie) et anthropiques. Dans les sites de transports et les sites puits, le recul et la progradation du front dunaire paraissent indépendants des contraintes anthropiques.



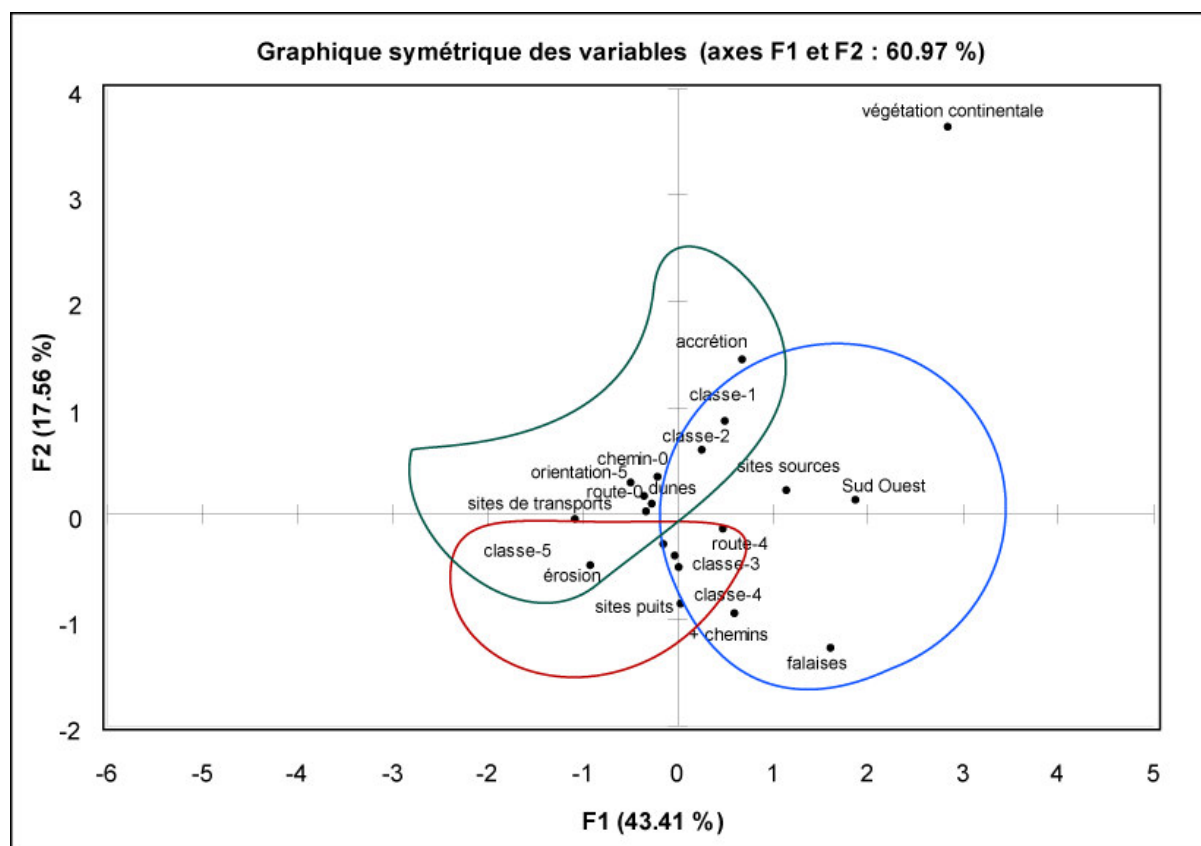


Figure II.22: Représentation graphique des axes factoriels 1 et 2 issus de l'ACM effectuée sur la table attributaire associée aux mouvements du trait de côte au sein de la presqu'île de Rhuys entre 1952 et 1985.

### La classification ascendante hiérarchique

Quatre classes ont été identifiées à partir de la CAH effectuée sur les coordonnées des individus sur les axes F1 et F2. La variance intra-classe est égale 17.19% et la variance inter-classe à 82.81%. La position des objets centraux sur les axes factoriels est indiquée dans le tableau II.22.

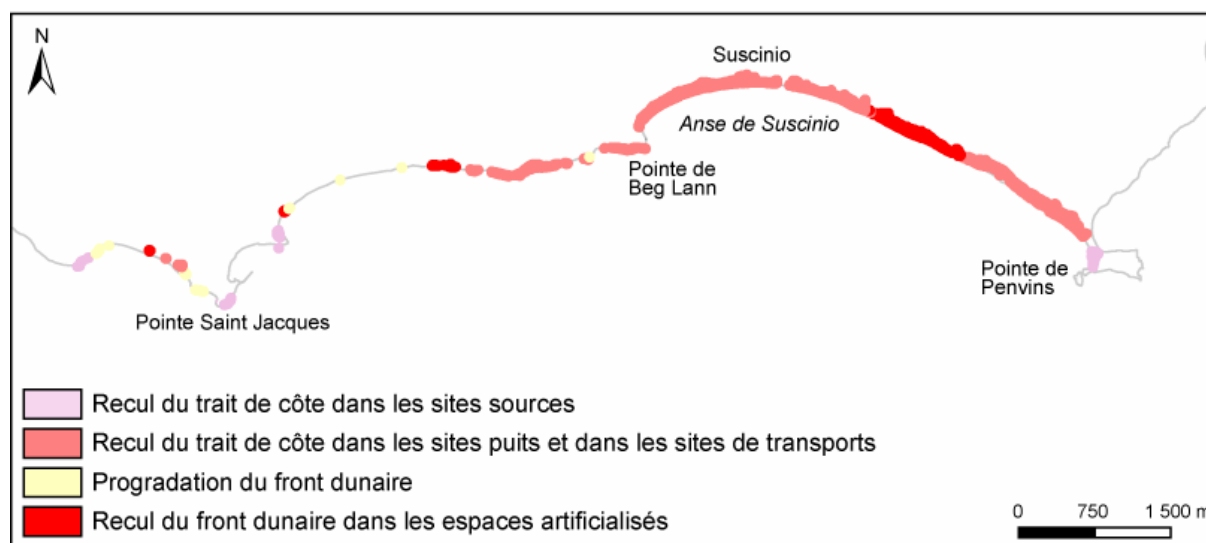
Classe	Coordonnées sur l'axe 1	Coordonnées sur l'axe 2
1	1.073	0.645
2	-0.418	0.009
3	0.189	-0.563
4	-0.081	0.415

Tableau II.22 : Position des objets centraux dans le plan factoriel (presqu'île de Rhuys - 1952/1985)

La classe 1 regroupe les individus dont la position, sur le plan factoriel, est définie par des coordonnées positives sur F1 et F2 (Tableau II.22). Elle décrit l'évolution des sites situés dans les sites sources et marqués par un recul du trait de côte, indépendamment des contraintes naturelles.

Ce recul du trait de côte concerne essentiellement les pointes rocheuses (Carte II.45).

La classe 2 est associée aux individus dont les coordonnées sont négatives sur l'axe 1 et proches de l'origine sur l'axe 2 (Tableau II.22). Ces individus correspondent aux sites marqués par un recul du front dunaire, indépendamment des contraintes anthropiques. Une grande part des sites localisés en aval des courants de dérive, dans les sites puits, est située dans cette classe. Cette classe permet d'identifier les sites concernés par un type de comportement géomorphologique, mis en évidence par l'analyse de l'axe 1. Les sites concernés par ce recul du front dunaire sont nombreux (Carte II.45). Ils concernent aussi bien l'anse de Suscinio, assimilée à un site puits (Carte III.14), que les sites de transports. En ce sens, la CAH confirme la prédominance des processus érosifs mesurés sur ce pas de temps (Carte II.3b) y compris dans les sites puits.



*Carte II.45: Répartition spatiale des classes issues de la CAH : analyse des variables contrôlant l'évolution de la presqu'île de Rhuys entre 1952 et 1985*

La classe 3 est définie, sur le plan factoriel, par des coordonnées positives sur F1 et négatives sur F2 (Tableau II.22). Cette classe décrit la progradation du front dunaire, dans les sites de transports, indépendamment des contraintes anthropiques. Elle renvoie à des informations délivrées par l'analyse des axes 1 et 2. Ces sites peu nombreux sont essentiellement localisés dans la partie Ouest de la presqu'île, vers Saint Jacques (Carte II.45).

La classe 4 décrit le recul du front dunaire dans les sites sources et les sites de transports, associés à une augmentation des surfaces artificialisées et du nombre de chemins côtiers. Mis en évidence par l'analyse des axes 1 et 2, ce type d'évolution géomorphologique concerne les sites associés à des coordonnées négatives sur l'axe 1 et positives sur l'axe 2. Ils sont bien représentés à l'Est de l'anse de Suscinio (Carte II.45). Au sein de la presqu'île de Rhuys, entre 1952 et 1985, les processus d'érosion sont dominants.

Les reculs du trait de côte sont assimilés à des comportements géomorphologiques principalement associés à des variables décrivant des contraintes naturelles, excepté pour les sites situés sur le sommet des falaises également associés à une artificialisation de l'espace littoral.

### **III.2.3.c. L'analyse sur les pas de temps intermédiaires : 1985 - 1999**

#### L'analyse en composantes multiples

Sur la période 1985 – 1999, les deux premiers axes factoriels dégagés par l'ACM expliquent 55.60% de la variance totale (Figure II.23).

Le premier axe explique 44.72% de la variance totale. Il est défini par les variables : morphologie (falaise/dune/végétation continentale), type de mouvement du trait de côte (érosion/accrétion), position dans la cellule sédimentaire (site source/ site de transit), augmentation du nombre de chemins (absence/présence) et certaines classes décrivant l'ampleur des mouvements du trait de côte. Il permet d'opposer les dunes en accrétion situées dans les sites de transports et associées à une augmentation des chemins côtiers aux falaises et surfaces couvertes par une végétation continentale enregistrant un recul de faible ampleur dans les sites sources. Ce premier axe associe **les variations du trait de côte à des facteurs naturels** et souligne l'importance de l'anthropisation de l'espace littoral dans les sites de transports par rapport aux sites sources.

Le deuxième axe explique 10.82% de la variance totale. Il est défini à partir des variables : augmentation du nombre de chemins (absence/présence), morphologie (dune/végétation continentale), position dans la cellule sédimentaire (site de transports/site puits), type de mouvement du trait de côte (érosion/accrétion), orientation (Sud/Nord-Ouest) et certaines classes décrivant l'ampleur de ces mouvements. Il met en opposition les dunes en érosion situées dans les sites de transports, orientés Sud, et associés à une augmentation des pressions anthropiques, à la colonisation des estrans par une végétation continentale dans les sites puits. Ce second axe apporte une **information résiduelle sur l'évolution des dunes dans les sites de transports en mettant en relation recul du front dunaire et augmentation des pressions anthropiques**.

Sur ce pas de temps, l'évolution du trait de côte apparaît ainsi contrôlée par des contraintes naturelles, auxquelles s'ajoutent dans les sites de transports les effets de la multiplication des chemins côtiers traversant la dune.

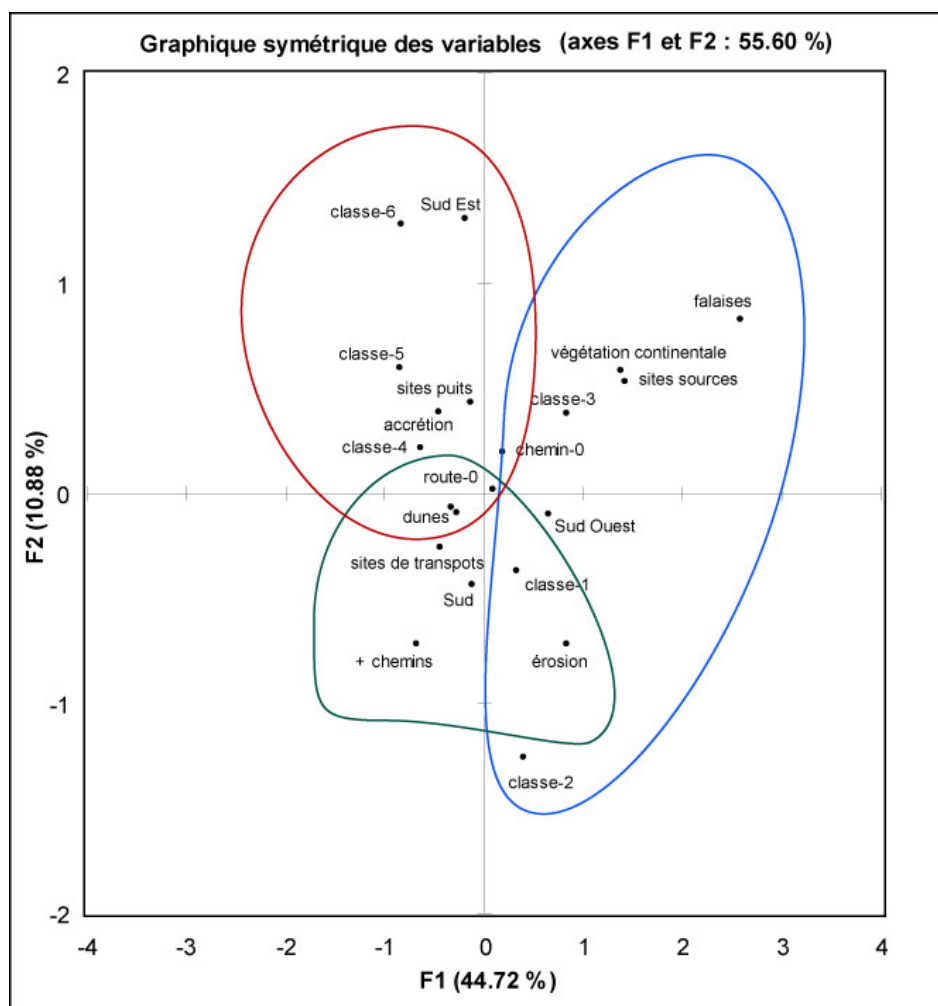


Figure II.23: Représentation graphique des axes factoriels 1 et 2 issus de l'ACM effectuée sur la table attributaire associée aux mouvements du trait de côte au sein de la presqu'île de Rhuy entre 1985 et 1999.

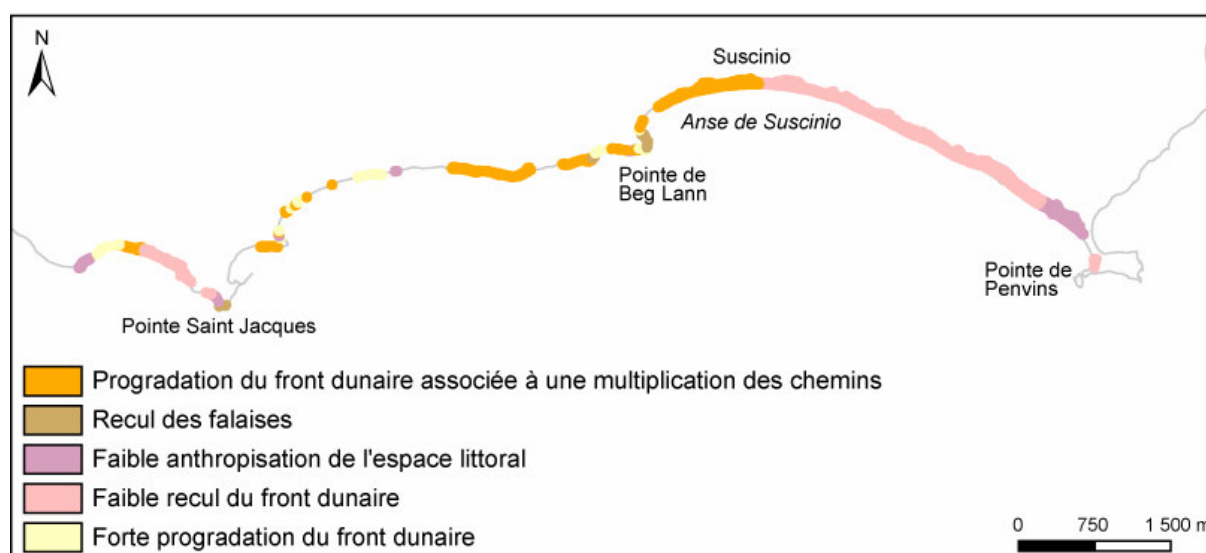
### La classification ascendante hiérarchique

La CAH réalisée à partir des coordonnées des individus sur les axes permet de mettre en évidence cinq classes. La variance intra-classe est égale 17.64% et la variance inter-classe à 82.36%. La position des objets centraux sur les axes factoriels est indiquée dans le tableau II.23.

Classe	Coordonnées sur l'axe 1	Coordonnées sur l'axe 2
1	-0.439	-0.158
2	1.330	0.536
3	0.195	0.462
4	-0.485	0.645
5	0.254	-0.552

Tableau II.23 : Position des objets centraux dans le plan factoriel (presqu'île de Rhuy - 1985/1999)

La classe 1 représente les individus dont les coordonnées sont négatives sur les deux axes factoriels (Tableau II.23). Ils représentent les sites dont l'évolution est associée à une augmentation du nombre de chemins côtiers. Ils sont situés au niveau des dunes, dans les sites de transports. L'analyse de l'axe 1 a mis en évidence que ces sites sont principalement caractérisés par une progradation du front dunaire entre 1985 et 1999. Ces sites sont essentiellement situés à l'Ouest de l'anse de Suscinio et de la pointe de Beg Lann (Carte II.46).



*Carte II.46: Répartition spatiale des classes issues de la CAH : analyse des variables contrôlant l'évolution de la presqu'île de Rhuys entre 1985 et 1999*

La classe 2 associe les individus caractérisés par des coordonnées fortement positives sur l'axe 1 et positives sur l'axe 2 (Tableau II.23). Elle met principalement en évidence le recul des falaises, dans les sites sources, associé à des contraintes naturelles (Carte II.46).

La classe 3 regroupe des individus dont les coordonnées sont également positives sur les deux axes, mais associées à des valeurs plus faibles (Tableau II.23). Ces individus correspondent à des sites dont le comportement n'est associé à aucun type d'évolution géomorphologique décrite par l'analyse des axes factoriels. Ils sont marqués par une absence d'anthropisation entre 1985 et 1999. Ces sites sont surtout concentrés à l'Est, au niveau de Penvins (Carte II.46).

La classe 4 regroupe les sites caractérisés par un recul du trait de côte, sur des surfaces assez faibles. Ils sont situés à l'Ouest de l'anse de Suscinio (carte II.46).

La classe 5 est définie, sur le plan factoriel, par des coordonnées positives sur F1 et négatives sur F2 (Tableau II.23). Elle permet d'identifier un ensemble de sites marqués par une progradation du front dunaire sur des surfaces importantes, à l'Ouest de la presqu'île (Carte II.46).

### III.2.3.d. L'analyse sur les pas de temps intermédiaires : 1999 - 2004

#### L'analyse en composantes multiples

Sur la période 1999 – 2004, les deux premiers axes factoriels dégagés par l'ACM expliquent 73.03% de la variance totale (Figure II.24).

Le premier axe explique 63.30% de l'information totale. Il est défini par les variables : morphologie (falaise/dune), position dans la cellule sédimentaire (site source/site de transport/site puits), mouvement du trait de côte (accrétion/érosion), orientation (Sud-Est/Sud/Nord-Ouest) et certaines classes décrivant l'ampleur de ces mouvements. Il met en opposition les falaises en érosion, orientées Sud, situées dans les sites sources et caractérisées par de faibles valeurs de recul avec les dunes en accrétion, orientées Sud-Est et Nord-Ouest, et localisées dans les sites de transport. **Ce premier axe associe ainsi les variations du trait de côte à des contraintes naturelles.**

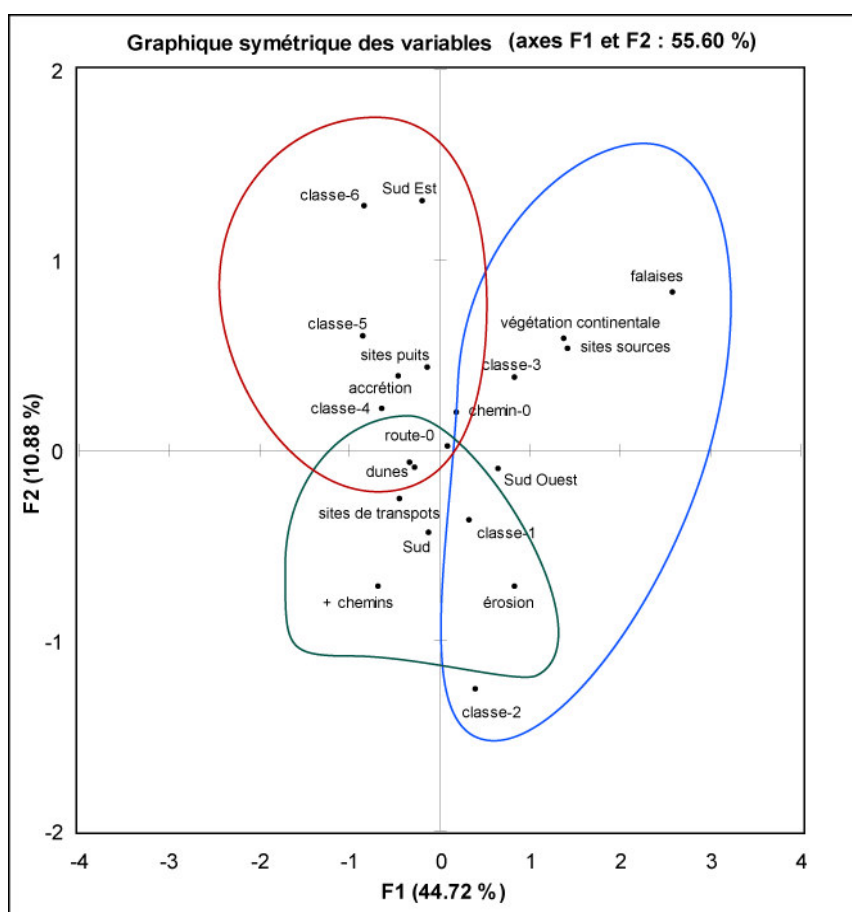


Figure II.24: Représentation graphique des axes factoriels 1 et 2 issus de l'ACM effectuée sur la table attributaire associée aux mouvements du trait de côte au sein de la presqu'île de Rhuy entre 1999 et 2004.

Le second axe explique 9.74% de la variance totale. Il est défini par les variables : morphologie (falaise/dune), localisation dans la cellule sédimentaire (site source/ site de transport), mouvement du trait de côte (accrétion/érosion), orientation (Sud-Est), et certaines classes décrivant l'ampleur de ces mouvements. Il permet d'associer les dunes, orientées Sud-Est, érodées sur des surfaces importantes et situées dans les sites de transport à une augmentation du nombre de chemins côtiers. Il met également en évidence la colonisation du haut de plage par une végétation continentale dans les sites puits. Ce second axe apporte des informations sur les mouvements résiduels du trait de côte, qui sont associés à une augmentation des pressions anthropiques dans les sites de transports, mais aussi à des orientations privilégiées du trait de côte (Sud-Est).

Ainsi, sur le pas de temps 1952 – 1999, les variations du trait de côte sont principalement expliquées par des contraintes naturelles, excepté dans les sites de transports où le recul du front dunaire est associé à des pressions anthropiques.

#### La classification ascendante hiérarchique

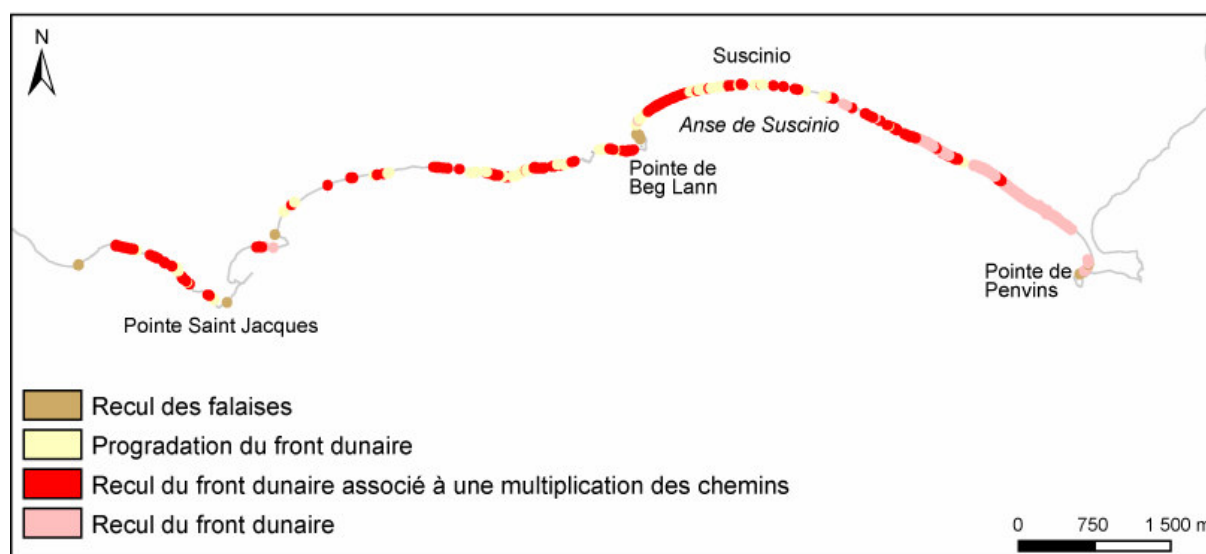
La CAH réalisée à partir des coordonnées des individus sur les axes permet de mettre en évidence quatre classes. La variance intra-classe est égale 17.70% et la variance inter-classe à 82.30%. La position des objets centraux sur les axes factoriels est indiquée dans le tableau II.24.

Classe	Coordonnées sur l'axe 1	Coordonnées sur l'axe 2
1	1.423	0.482
2	0.530	0.400
3	-0.223	-0.402
4	-0.503	-0.323

*Tableau II.24 : Position des objets centraux dans le plan factoriel (Presqu'île de Rhuy - 1999/2004)*

La classe 1 regroupe les individus dont les coordonnées sont positives sur les axes factoriels (Tableau II.24). Ces individus correspondent aux sites en érosion dans les sites sources, et en particulier au recul des falaises (Carte II.47). Les mouvements du trait de côte décrits par cette classe sont essentiellement associés à des variables décrivant des forçages naturels mis en évidence par l'axe 1.

La classe 2 décrit une évolution géomorphologique caractérisée par une progradation du front dunaire sur des surfaces importantes. Ces mouvements d'accrétion concernent les sites localisés dans les sites puits, et dans une moindre mesure dans les sites de transport. Cette classe permet de cartographier (Carte II.47) une partie de l'information issue de l'analyse de l'axe 1. Par exemple, l'anse de Susicinio, identifiée comme un site puits (Carte II.14), est concernée par cette évolution.



*Carte II.47: Répartition spatiale des classes issues de la CAH : analyse des variables contrôlant l'évolution de la presqu'île de Rhuys entre 1999 et 2004*

La classe 3 est définie, sur le plan factoriel, par des individus dont les coordonnées sont négatives sur les deux axes F1 et F2 (Tableau II.24). Les sites projetés sur cette région du plan factoriel sont caractérisés par des variables décrivant une augmentation du nombre de chemins côtiers au sein des dunes situées dans les sites de transports. L'analyse de l'axe 2 souligne par ailleurs que l'évolution de ces sites est principalement caractérisée par un mouvement de recul du front dunaire. Ces sites sont fréquents et dispersés le long de la presqu'île, y compris dans les sites puits au sein de l'anse de Susicinio (Carte II.47).

La classe 4 regroupe des individus dont les coordonnées sont positives sur l'axe 1 et négatives sur l'axe 2 (Tableau II.24). Elle rassemble les sites caractérisés par un recul du trait de côte sur des surfaces faibles, majoritairement exposées Sud-Ouest. Ces sites sont principalement situés au sein des dunes localisées à l'Est de la presqu'île (Carte II.47).

L'analyse combinée des résultats de l'ACM et de la CAH a permis d'identifier quatre types d'évolution géomorphologique le long de la presqu'île de Rhuys. Trois d'entre eux paraissent relativement indépendantes des contraintes anthropiques exercées sur la frange littorale. A l'inverse, pour les sites regroupés au sein de la classe 3, le recul du front dunaire est associé à une combinaison de variables décrivant des contraintes naturelles et anthropiques.



## Synthèse

L'analyse multifactorielle a permis de mettre en évidence différentes combinaisons de variables définissant des types d'évolution géomorphologique caractérisant la presqu'île de Rhuys, entre 1952 et 2004. Suivant les cas, ces types d'évolution sont associés à des contraintes naturelles ou à une combinaison de contraintes naturelles et anthropiques.

Les contraintes naturelles, définies à travers le type de morphologie et la position dans la cellule sédimentaire, sont associées au recul du trait de côte dans les sites sources et à l'avancée du front dunaire dans les sites de transports et les sites puits. Sur la période 1952-1985, le recul du trait de côte observé dans les sites puits n'est expliqué par aucun des facteurs contenus dans la base de données et pourrait résulter de transports crossshore, mal pris en compte dans le découpage des cellules sédimentaires. Ce phénomène, également mis en évidence par les analyses univariées, pourrait également être expliqué par la complexité morphologique de la zone d'étude, rendant difficile l'identification des cellules sédimentaires. Ce dernier point renvoie aux observations réalisées à l'issue des analyses spatiales. En outre, les contraintes anthropiques influencent également le comportement du trait de côte. L'augmentation des surfaces artificialisées et du nombre de chemins côtiers est associée au recul des falaises entre 1952/2004 et 1952/1985. Entre 1952 et 2004, l'augmentation des pressions anthropiques est également associée au recul du front dunaire dans les sites sources. Enfin, les dunes orientées Sud et Sud-Est paraissent plus sensibles aux processus érosifs que les dunes orientées Nord-Ouest.

Les CAH permettent de préciser ces types d'évolution géomorphologique et d'identifier les secteurs où ils prédominent. D'une manière générale, les évolutions associées à des contraintes naturelles prédominent. Les évolutions associées à une augmentation des contraintes anthropiques concernent essentiellement le recul des falaises sur le pas de temps 1952-2004 et le recul du front dunaire, notamment dans les sites de transport, entre 1952 et 1985 et entre 1999 et 2004. Entre 1985 et 1999, les interactions entre contraintes naturelles et contraintes anthropiques sont associées à une progradation du front dunaire.

Ainsi, ces analyses statistiques permettent de préciser les résultats des analyses spatiales en identifiant des associations de variables susceptibles de définir des logiques expliquant la répartition spatiale des sites marqués par un recul ou une avancée du front dunaire. Toutefois, la complexité du comportement du système côtier est confirmée, notamment sur le pas de temps 1952-1985, et il est difficile de définir clairement des logiques expliquant les variations du trait de côte.

### Synthèse des systèmes dunes-plages

Les résultats obtenus pour les ACM et les CAH permettent d'identifier différents types d'évolution du trait de côte, sur le long et moyen terme. D'une manière générale, l'anthropisation de l'espace littoral depuis les années 1950 contribue à mettre en place des dynamiques complexes, intervenant sur différentes échelles spatiales.

Dans les sites sources, le recul du trait de côte résulte principalement de contraintes naturelles, parfois associées à une augmentation des pressions anthropiques. Ces sites sont constitués de falaises ou de formations dunaires situées en amont des courants de dérive littorale. Les dynamiques littorales et/ou sub-aériennes qui contrôlent l'évolution de ces formes favorisent l'abrasion et le transport des sédiments. Sur les périodes 1952-1985, ces processus d'érosion sont associés à une augmentation des contraintes anthropiques dans la baie de Quiberon et sur la presqu'île de Rhuys. De même, entre 1985/1999 et 2000/2004, le recul des falaises de Gâvres est associé à une artificialisation du littoral alors qu'entre 1985 et 2004 l'évolution des falaises de la baie de Quiberon est associée à une forte augmentation des contraintes anthropiques.

Les dunes localisées dans les sites de transit s'apparentent à des espaces fortement marqués par l'augmentation des pressions anthropiques. Les mouvements du trait de côte sont caractérisés par l'occurrence des processus d'accrétion et d'érosion. Le recul du front dunaire est souvent associé à une augmentation du nombre de chemins côtiers. Ce phénomène est observé entre 1952/2004 et 1999/2000 au niveau du massif dunaire, entre 1952 et 1985 dans la baie de Quiberon, et, entre 1952 et 1985 pour la Presqu'île de Rhuys. Sur d'autres pas de temps, en particulier entre 1985 et 1999, la multiplication des chemins côtiers est associée à une forte progradation des massifs dunaires. Ainsi, les interactions entre contraintes anthropiques et naturelles sont-elles complexes. Elles participent aussi bien d'un mouvement de recul que d'un mouvement d'avancée du trait de côte et seront analysées plus en détails au sein du chapitre suivant.

Les sites puits sont caractérisés par l'accrétion des dunes et des surfaces recouvertes par les schorres, sauf sur la Presqu'île de Rhuys entre 1952 et 1985. Cette accrétion résulte de processus naturels. Sur certains pas de temps, les fortes concentrations de contraintes anthropiques sont associées à des processus érosifs, comme par exemple entre 1999-2000 dans le massif dunaire, entre 1952-2004 en Presqu'île de Rhuys et entre 1952-2004, et 1952-1985 en Baie de Quiberon. Les interactions entre contraintes anthropiques et processus érosifs seront discutées au chapitre 4.

Toutefois, certains résultats peuvent être nuancés. En effet, pour chaque secteur, sur un certain nombre de pas de temps, le pourcentage total de la variance expliquée par les axes 1 et 2 est peu élevé, et excède à peine 40% pour l'axe 1. Pour exemple, au sein du massif dunaire, le pourcentage de la variance totale expliqué par l'axe 1 entre 2000 et 2004 est proche de 36%. Dans la Presqu'île de Rhuys, ce pourcentage atteint environ 30% entre 1952 et 2004. Ces résultats traduisent une forte imbrication des différents facteurs étudiés dans le contrôle de l'évolution du trait de côte, rendant difficile la discrimination de leur poids relatif. D'une manière générale, les résultats obtenus pour la baie de Quiberon permettent une meilleure discrimination de ces facteurs puisque, sur chaque pas de temps, les deux axes contribuent à expliquer plus de 70% de la variance totale. Ce dernier point renvoie aux résultats des analyses spatiales mettant en évidence la forte complexité des systèmes étudiés, caractérisés par une dispersion des sites en érosion et en accrétion et une forte dispersion des différentes contraintes étudiées.

### III.2.4. La presqu'île rocheuse de Quiberon

L'ACM effectuée à partir de la table attributaire associée aux mouvements du trait de côte entre 1952 et 2004 a permis de dégager plusieurs axes factoriels, dont les deux premiers expliquent 52.77 % de la variance totale (Figure II.25).

Le premier axe explique 40.37% de l'information totale. Il est défini par les variables : type de falaise (falaise dure/falaise meuble), type de végétation (buisson/roche nue), orientation des falaises (Nord-Ouest, Sud, Ouest) et dans une moindre mesure par l'augmentation du nombre de chemins côtiers (absence/présence) et les classes extrêmes de recul (classe 1/classe5). Il permet d'associer les falaises meubles, couvertes d'une végétation buissonnante ou arbustive, orientées Sud ou Nord-Ouest, associées à une augmentation du nombre de chemins côtiers aux valeurs les plus fortes de recul. A l'inverse, ce même axe permet d'associer les falaises rocheuses, dites dures, orientées Ouest, au sommet dépourvu de végétation, aux valeurs les plus faibles de recul. Cet axe fait ainsi intervenir des contraintes naturelles pour expliquer les différentes ampleurs de recul, auxquelles est associée une augmentation des pressions anthropiques.

Le deuxième axe explique 12.40% de la variance totale et apporte une information sur les mouvements résiduels du trait de côte. Il est essentiellement défini par le type de végétation (formations basses/buisson/roche nue), l'augmentation du nombre de chemins côtiers (absence/présence) et dans une moindre mesure certains secteurs d'orientation. Il permet d'associer les falaises couvertes d'une végétation appartenant à des formations basses, orientées Nord, Nord Est et Est à une augmentation du nombre de chemins côtiers. Ce groupe de variables s'oppose aux falaises orientées Sud-Est, non associées à une augmentation du nombre de chemins côtiers, dépourvues de couverture végétale et colonisées par des formations basses. Les axes suivants ne seront pas étudiés en détail car ils n'expliquent qu'une faible partie de l'information totale contenue dans la base de données attributaires. Toutefois, il est intéressant de noter que cette information résiduelle met en relation l'augmentation des pressions anthropiques (surfaces bâties et chemins côtiers) avec les classes les plus importantes de recul.

Ainsi, le recul des falaises de la Presqu'île de Quiberon est contrôlé par des facteurs naturels renvoyant à la structure géologique et à la lithologie de la falaise, le type et l'état du couvert végétal et l'orientation des falaises par rapport aux houles dominantes.

Les plus fortes ampleurs de recul observées sont également associées à une augmentation des pressions anthropiques, telles que les surfaces bâties et l'augmentation du nombre de chemins côtiers. Ce dernier facteur joue un rôle non négligeable dans la mesure où il contribue à définir les 4 premiers axes.

A la lumière de ces résultats, trois types de falaises, dont le recul est défini par une combinaison de facteurs naturels et anthropiques, ont pu être identifiés :

Les falaises meubles, colonisées par des formations basses, orientées Est – Nord Est. Ce sont les falaises situées au Nord et au niveau des criques, dans la partie la plus centrale de la Presqu'île. Le recul de ces falaises est essentiellement contrôlé par des processus d'érosion subaériens.

Les falaises meubles, couvertes de buissons et de végétation arbustive, orientées Sud-Est et Sud, associées à une augmentation du nombre de chemins côtiers, à une augmentation des surfaces bâties et caractérisées par de fortes valeurs de recul. Ce type de falaise est principalement situé à l'extrémité Sud de la presqu'île, au niveau de la pointe du Conguel. Certaines sont également présentes au niveau des criques situées dans la partie plus centrale de la presqu'île. Le recul de ces falaises est dominé par l'action combinée des houles et des facteurs subaériens, à laquelle est associée une augmentation des pressions anthropiques susceptibles d'accroître les vitesses d'érosion gravitaire.

Les falaises rocheuses, souvent dépourvues de couverture végétale, où les différentes ampleurs de recul sont associées à différentes orientations par rapport aux houles et vents dominants, et dans une moindre mesure à une augmentation des surfaces artificialisées et du nombre de chemins côtiers. Le recul de ces falaises est contraint par le degré d'exposition aux houles. L'absence de couverture végétale et l'augmentation des pressions anthropiques exercées sur le sommet des falaises favorisent en outre les processus d'érosion gravitaire. Toutefois, la structure lithologique de ces falaises détermine des vitesses de recul moins importantes que celles observées dans les formations plus meubles.

La CAH effectuée à partir des coordonnées de chaque site sur les axes factoriels confirme et précise ces résultats. Avec des variances inter-classe et intra-classe respectivement égale à 60.05% et 30.95%, la CAH permet d'identifier trois classes associant différentes variables à différentes valeurs de recul. Les coordonnées des objets centraux composant les classes sont indiquées dans le tableau II.25.

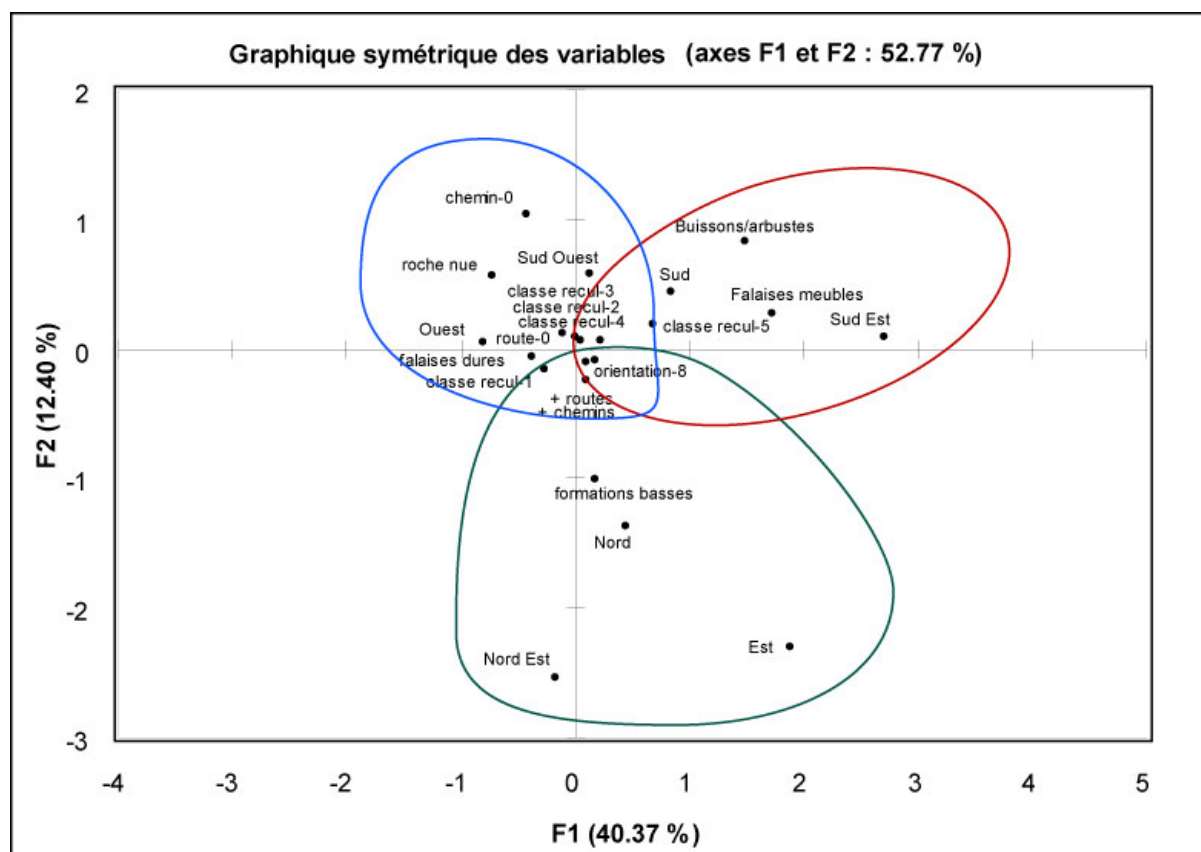


Figure II.25: Représentation graphique des axes factoriels 1 et 2 issus de l'ACM effectuée sur la table attributaire associée au recul des falaises de la presqu'île de Quiberon entre 1952 et 2004.

Classe	Coordonnées sur l'axe 1	Coordonnées sur l'axe 2
1	-0.431	0.268
2	-0.029	-0.562
3	0.869	0.252

Tableau II.25 : Position des objets centraux dans le plan factoriel (presqu'île de Quiberon - 1999/2004)

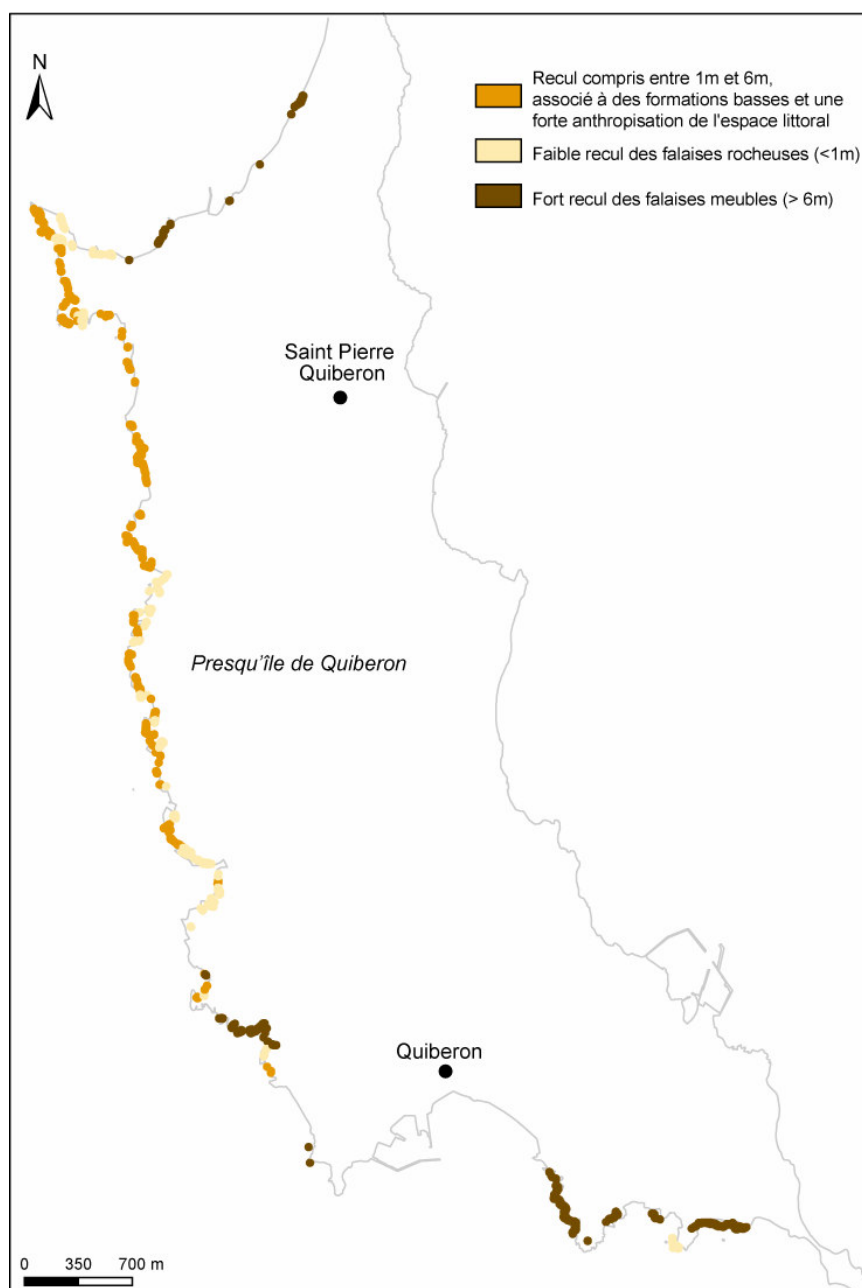
La classe 1 regroupe les individus caractérisés par des coordonnées négatives sur l'axe 1 et positives sur l'axe 2 (Tableau II.25). Ces individus correspondent aux sites caractérisés par un recul compris entre 1 et 6 m. Ces sites sont généralement associés à une augmentation du nombre de chemins côtiers et des surfaces artificialisées. Le sommet des falaises est colonisé par une végétation basse. Ces sites sont situés au centre de la presqu'île de Quiberon (Carte II.48) et concernent principalement les falaises rocheuses.

La classe 2 regroupe les individus dont les coordonnées sont négatives sur les deux axes factoriels (Tableau II.25). Cette classe permet d'associer les falaises dures, de type 4, aux vitesses de recul les plus faibles, inférieures à 1m sur plus de 50 ans.

Ces résultats confirment une observation réalisée à partir des analyses spatiales : les vitesses de recul au sein des falaises rocheuses sont plus importantes lorsque les concentrations des chemins côtiers et des surfaces artificialisées sont fortes.

La troisième classe regroupe les individus dont la position sur le plan factoriel est définie par des coordonnées positives sur les deux axes (Tableau II.25). Elle permet d'associer les reculs de plus grande ampleur aux falaises meubles, situées aux extrémités Nord et Sud-Est de la presqu'île (Carte II.48).

D'une manière générale, les résultats obtenus confirment les hypothèses soulevées par les résultats des analyses spatiales précédemment discutées (Chapitre 5 – II) : les différentes vitesses de recul résultent d'une combinaison de contraintes naturelles et anthropiques.



Carte II.48: Répartition spatiale des classes issues de la CAH : analyse des variables contrôlant l'évolution de la presqu'île de Quiberon entre 1952 et 2004



### III.2.5. Le Golfe du Morbihan

L'ACM effectuée à partir de la table attributaire associée aux mouvements du trait de côte entre 1952 et 2004 a permis de dégager plusieurs axes factoriels, dont les deux premiers expliquent 57.66 % de la variance totale (Figure II.26).

Le premier axe explique 40.92% de l'information totale. Il est défini par les variables : type de falaise (micro falaise, grande falaise meuble, petite falaise meuble), type de végétation (formations basses, buissons/arbustes, arbres) et les classes extrêmes de recul (classe 1, 2 et 5). Il permet d'associer les micros falaises couvertes d'une végétation constituée de formations basses, buissonnantes ou arbustives aux valeurs de recul les plus faibles (<1m) et les plus importantes (> 5m). L'axe 1 permet également de regrouper dans un second ensemble, les falaises meubles, hautes ou basses, couvertes d'une végétation arborée et associées aux valeurs de recul de classe 2, comprises entre 1m et 2m.

Le deuxième axe explique 16.74% de l'information totale. Il est défini par les variables : type de végétation (formations basses, buissons/arbustes, arbres), type de falaise (micro falaise, grande falaise meuble, petite falaise meuble), augmentation du nombre de chemins côtiers (absence/présence), augmentation des surfaces bâties (absence/présence) et certaines classes de recul. Il permet d'associer les hautes falaises meubles couvertes d'une végétation arbustive ou buissonnante, et caractérisées par une augmentation des pressions anthropiques, aux vitesses les plus faibles de recul. Les petites falaises meubles associées à une couverture végétale arborée sont associées à des valeurs de recul comprises entre 1et 2m, et 3et 4m. Par ailleurs, cet axe souligne également que les micros falaises sont associées à des formations végétales basses.

A la lecture de ces deux premiers axes, l'ampleur du recul des falaises apparaît déterminée par deux facteurs principaux : la lithologie et le type de végétation. Trois types de falaises, associés à des ampleurs différentes de recul sont ainsi identifiés :

Les micros falaises (< 1 m) couvertes par des formations végétales basses. Ces micros falaises sont constituées de matériaux tendres et peu cohérents. La structure lithologique apparaît ainsi jouer un rôle important.

Les petites falaises meubles (< 4/5 m) couvertes par des formations végétales arborées. Ces falaises sont également caractérisées par une structure lithologique favorisant les processus d'érosion gravitaire. En outre, la végétation arborée établie sur le sommet de ces falaises contribue à accélérer les processus d'érosion subaérienne. Cette dernière observation rejoint celle effectuée à l'issue des analyses spatiales, et discutée à partir de la carte II.34.

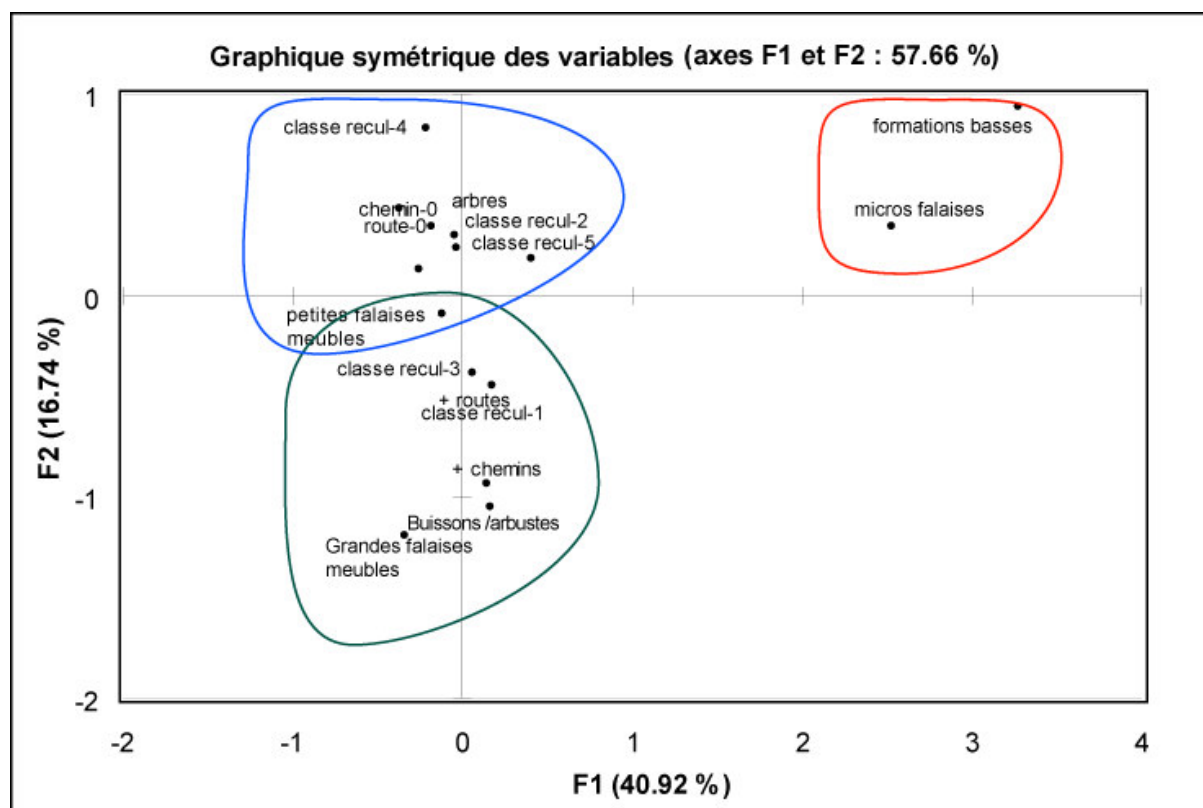


Figure II.26: Représentation graphique des axes factoriels 1 et 2 issus de l'ACM effectuée sur la table attributaire associée au recul des falaises du Golfe du Morbihan entre 1952 et 2004.

Les grandes falaises meubles (5 – 10 m), couvertes par des formations buissonnantes et/ou arbustives, sont également caractérisées par une augmentation des pressions anthropiques exercées sur leur sommet, qui se traduit par une augmentation des pressions des surfaces bâties et du nombre de chemins côtiers. Ces pressions anthropiques ne sont toutefois pas associées à des valeurs importantes de recul. Ce dernier point peut être mis en relation avec le type de couverture végétale caractérisant les falaises. En effet, la végétation buissonnante ou arbustive contribue à stabiliser les formations superficielles et l'horizon d'altération, réduisant ainsi les vitesses d'érosion gravitaire.

Les CAH confirment ces résultats en mettant en évidence l'importance du contrôle de la végétation sur les différentes vitesses de recul. La CAH réalisée a permis de mettre en évidence trois classes pour une variance inter-classe de 71.91% et une variance intra-classe de 28.09%.

Classe	Coordonnées sur l'axe 1	Coordonnées sur l'axe 2
1	-0.431	0.268
2	-0.029	-0.562
3	0.869	0.252

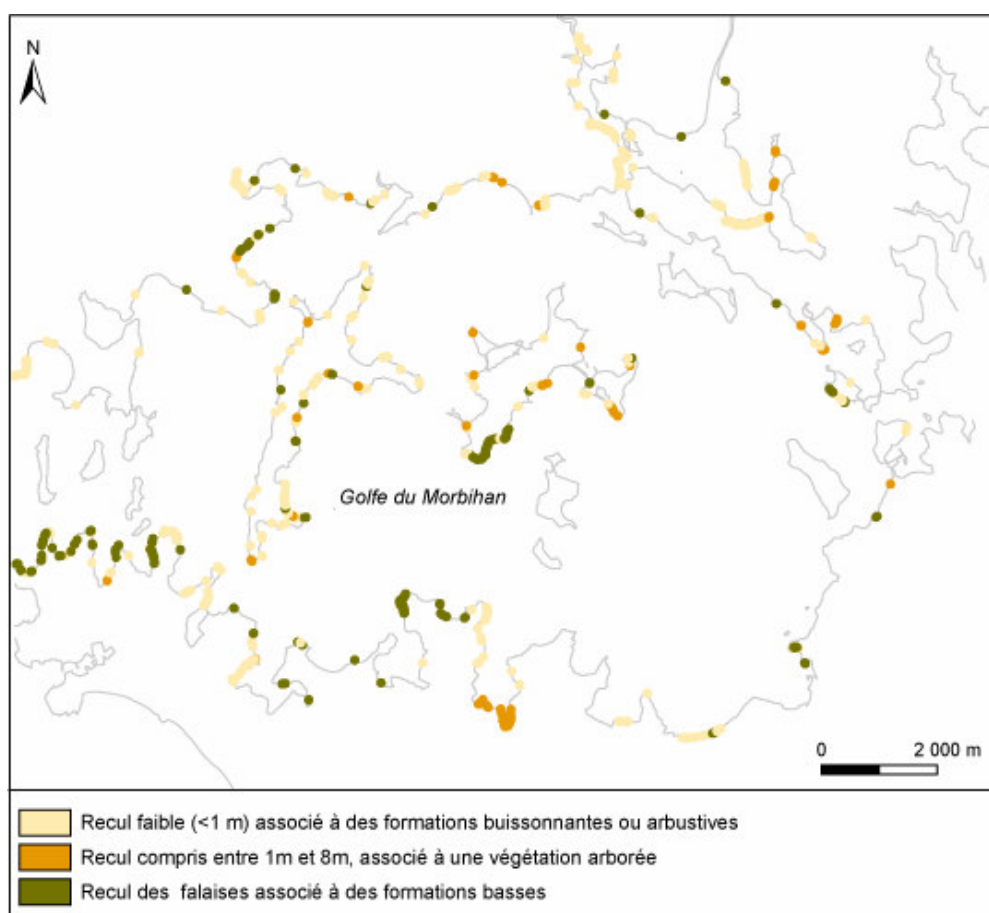
Tableau II.26 : Position des objets centraux dans le plan factoriel (Golfe du Morbihan - 1999/2004)

La classe 1 regroupe les individus caractérisés par des coordonnées négatives sur l'axe 1 et positives sur l'axe 2 (Tableau II.26). Ils correspondent à des sites associés à des vitesses de recul faibles ( $< 1$  m sur 50 ans). Ces sites sont recouverts d'une végétation buissonnante ou arbustive. Ces falaises sont en outre caractérisées par une augmentation des surfaces artificialisées et du nombre de chemins côtiers. Ces sites sont dispersés sur l'ensemble du pourtour du Golfe, excepté dans la partie Sud-Est (Carte II.48)

La classe 2 regroupe les individus dont les coordonnées sont négatives sur les deux axes (Tableau II.26). Cette classe regroupe les sites susceptibles d'être caractérisés par une érosion par chablis. En effet, elle regroupe les sites situés sur des petites falaises meubles (Type 2), colonisés par une végétation arborée et enregistrant un recul compris entre 2 m et 8 m entre 1952 et 2004. Ces sites sont dispersés dans toute la partie Ouest du Golfe (Carte II.49). Ils occupent des espaces réduits, situés dans les régions dont le couvert végétal arboré est dense (Carte II.34).

La classe 3 regroupe des individus caractérisés par des coordonnées positives sur les deux axes factoriels (Tableau II.26). Les vitesses de recul associées à ces sites sont faibles (comprises entre 1 m à 2 m sur 50 ans) ou très fortes ( $> 8$  m sur 50 ans). Elles concernent principalement les micros falaises (Type 1) et les falaises meubles de type 3, colonisées par des formations basses. Ces sites sont plus importants à l'Ouest du Golfe (Carte II.49).

Le recul des falaises dans le Golfe du Morbihan est principalement contrôlé par la lithologie et le couvert végétal. Contrairement à ce qui est observé sur la presqu'île de Quiberon, l'augmentation des contraintes anthropiques n'explique que les mouvements résiduels de recul et participe aux processus d'érosion dans des secteurs où les types de végétations déterminent déjà des vitesses importantes de recul. Les résultats obtenus par la CAH mettent en évidence que lorsque le sommet des falaises est colonisé par une végétation de type buissonnante ou arbustive, elles sont associées aux vitesses les plus faibles de recul. Par ailleurs, les résultats des CAH permettent d'identifier un ensemble de sites dont le recul est susceptible d'être contrôlé par la présence d'une végétation arborée sur le sommet des falaises. Ces sites sont localisés dans les mêmes secteurs que les sites marqués par un recul important et associés à une forte densité de couvert végétal arboré (Carte II.34). L'ensemble de ces observations confirme les hypothèses soulevées par l'analyse spatiale : le type de couvert végétal établi sur les sommets des falaises apparaît ainsi essentiel pour expliquer leurs évolutions.



*Carte II.49: Répartition spatiale des classes issues de la CAH : analyse des variables contrôlant l'évolution du Golfe du Morbihan entre 1952 et 2004*

### Synthèse pour les systèmes de falaises:

L'ensemble des résultats issus des ACM et des CAH a permis d'individualiser pour chacun de ces systèmes littoraux différents types de falaises, caractérisées par des formes de recul et une localisation bien particulière.

D'une manière générale, les contraintes naturelles telles que la structure géologique, le type de couvert végétal ou l'orientation par rapport aux houles et vents dominants expliquent les différentes valeurs de recul observées au sein de chacun de ces systèmes littoraux. Toutefois, le recul de ces falaises est également dépendant de variables anthropiques. L'augmentation des surfaces bâties est associée à de fortes vitesses de recul aussi bien dans le Golfe que sur la Presqu'île de Quiberon. De plus, l'augmentation du nombre de chemins côtiers influence également le recul des falaises de la Presqu'île. L'ensemble de ces résultats est globalement cohérent avec les résultats des analyses spatiales.

## IV. MOBILITE DU TRAIT DE COTE ET FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES COTIERS SUR LE LONG TERME : ELEMENTS DE SYNTHESE

D'une manière générale, l'ensemble des analyses spatiales réalisées a permis, d'une part, de mettre en évidence la complexité des systèmes côtiers étudiés et d'autre part, de souligner l'existence d'au moins deux logiques expliquant la répartition des sites en érosion et en accrétion, à au moins deux échelles différentes. De manière très schématique, à l'échelle des systèmes côtiers, l'évolution du trait de côte semble être contrôlée par des contraintes d'ordre naturelles. A une échelle plus fine, l'identification d'un certain nombre d'associations spatiales entre les variables décrivant les mouvements du trait de côte et les variables décrivant les contraintes associées à ces mouvements suggère l'existence d'interactions complexes entre contraintes naturelles et contraintes anthropiques, influençant l'évolution des formes littorales. Les analyses statistiques ont permis de vérifier les relations de dépendance entre ces variables et de localiser les espaces où elles paraissent significatives. Par ailleurs, les analyses statistiques confirment, sur certains pas de temps, la complexité du comportement des systèmes côtiers et permettent de chiffrer l'importance de l'anthropisation de l'espace littoral depuis les années 1950. L'ensemble des résultats obtenus permet ainsi de discuter des modes de fonctionnement géomorphologique expliquant les variations du trait de côte entre 1952 et 2004. L'objectif de cette quatrième partie est de synthétiser, pour chaque système côtier, les différents résultats discutés au sein du chapitre 5 afin d'explicitier son comportement géomorphologique, sur le long et moyen terme.

### IV.1. Le Massif dunaire Gâvres – Penthievre

L'ensemble des différentes analyses entreprises pour caractériser le fonctionnement géomorphologique du massif dunaire Gâvres – Penthievre a permis de décrire ce système côtier comme une vaste cellule sédimentaire, divisée en sub-cellules entre lesquelles les sédiments circulent du Nord vers le Sud-Est. La distribution spatiale des sites en érosion et en accrétion est cohérente avec les schémas de transports sédimentaires et le découpage du massif en différentes sub-cellules sédimentaires. Les analyses statistiques ont confirmé la cohérence du découpage du massif dunaire en trois types de sites suivant leur localisation au sein des cellules sédimentaires – les sites sources, les sites de transport, les sites puits –. D'une manière générale, les sites caractérisés par un recul du front dunaire sont sur-représentés dans les sites sources, et à l'inverse, les sites caractérisés par une avancée du front dunaire sont sur-représentés dans les sites puits.

Par ailleurs, l'analyse des relations de voisinages entre les différents degrés de concentrations de sites en érosion, en accrétion, d'une part, et les concentrations de sites concernés par une augmentation de contraintes anthropiques, d'autre part, ont souligné l'importance des sites en recul dans les secteurs où sont concentrés l'augmentation des contraintes anthropiques. Sur la pointe de Gâvres, ces contraintes concernent les surfaces artificialisées et les chemins côtiers. Dans le centre et le Sud du massif dunaire, ces pressions anthropiques concernent souvent les chemins côtiers. Leur augmentation est parfois concomitante à une artificialisation des surfaces dans la dune végétalisée et à la mise en place d'infrastructures telles que des parkings. Toutefois, dans les sites de transports, et dans une moindre mesure, dans les sites puits, l'artificialisation du littoral n'est pas systématiquement associée à un recul du front dunaire. Entre 1985 et 1999, les secteurs concernés par une augmentation des contraintes anthropiques enregistrent également une avancée du front dunaire sur des surfaces importantes. L'ensemble des actions entreprises afin d'aménager l'accès aux plages est ainsi associé, sur certains pas de temps, à un développement accru des dunes embryonnaires.

Les analyses statistiques réalisées confirment les principaux résultats obtenus à partir des analyses spatiales. Entre 1952 et 2004, les sites en érosion sont associés aux falaises et aux sites sources et les sites en accrétion aux dunes, dans les sites puits et les sites de transports. Les mouvements du trait de côte sont également associés à des variables décrivant les contraintes anthropiques exercées sur la frange littorale. L'augmentation des surfaces artificialisées, dans les sites sources, est généralement associée à des mouvements de recul du trait de côte. Dans les sites de transports et les sites puits, l'augmentation du nombre de chemins côtiers est associée, sur plusieurs pas de temps, à un mouvement de recul du front dunaire. Toutefois, entre 1985 et 1999, cette relation n'est pas vérifiée. Sur ce pas de temps, l'augmentation des contraintes anthropiques est associée à une progradation des fronts dunaires.

A partir de ces observations, les variations du trait de côte au sein du massif dunaire apparaissent dépendants d'un certain nombre de contraintes, à la fois naturelles et anthropiques, telles que : le type de morphologie, l'orientation du trait de côte, la position par rapport aux courants de dérive littorale, et la concentration des pressions anthropiques exercées sur le massif dunaire, et en particulier des chemins côtiers.

Le fonctionnement géomorphologique du système côtier Gâvres - Penthièvre, sur les moyen et long termes, est ainsi, à l'échelle du massif dunaire, en grande partie dépendant des schémas de circulation et de transports de sédiments opérant au sein des cellules sédimentaires. A une échelle plus locale, les sites analysés à partir des variations du trait de côte sont également dépendants de l'organisation spatiale des différentes contraintes anthropiques exercées sur la frange littorale.

## IV. 2. La baie de Quiberon

Les schémas de circulation sédimentaire de la baie de Quiberon sont contraints par la morphologie de la baie, la sinuosité du trait de côte et la présence de hauts fonds au large amortissant les houles et contraignant leur réfraction. De part et d'autre de l'entrée du Golfe du Morbihan, elle est divisée en deux cellules sédimentaires distinctes. A l'Ouest du Golfe, plusieurs entités se dégagent qui s'apparentent à des sub-cellules délimitées par des pointes rocheuses. D'une manière générale, les schémas de circulations sédimentaires semblent favoriser une convergence des apports sédimentaires vers la baie de Plouharnel et le centre de la baie. A l'Est, les sédiments transitent entre les plages du Foego et des Govelins. L'orientation de la dérive littorale est sensible à l'orientation des houles dominantes. En outre, la circulation sédimentaire au sein de la baie est largement contrainte par l'importance de la zone de fetch.

Les variations du trait de côte sont marquées par des rythmes non linéaires avec une prédominance des processus érosifs sur la période 1952-1985 et une prédominance des processus d'accrétion entre 1985 et 2004. La distribution spatiale des sites en érosion et en accrétion est contrainte par la morphologie des sites et leur localisation au sein des cellules sédimentaires: les falaises correspondent à des sites en recul, associés à des sites sources, alors que les dunes et les surfaces couvertes par les schorres sont associées soit à des mouvements de recul, soit à des mouvements d'avancée du trait de côte. Entre 1952 et 2004, les surfaces en accrétion concernent majoritairement les fronts dunaires situés dans la partie centrale de la baie, au sein des sites puits. Les sites en érosion sont caractérisés par une distribution spatiale plus dispersée. Ils sont souvent surreprésentés dans les sites sources, et dans une moindre mesure, dans les sites de transport entre 1952 et 1985.

Parallèlement, le littoral est marqué par une importante anthropisation de l'espace depuis les années 1950. La distribution spatiale des sites en érosion et en accrétion peut être mise en relation avec la présence et la concentration des contraintes anthropiques identifiées le long du linéaire côtier. Sur chacun des pas de temps étudiés, les sites concernés par de fortes densités d'augmentation des pressions anthropiques sont situés à proximité des sites enregistrant un recul du trait de côte, quelque soit leur localisation au sein des cellules sédimentaires. Ainsi, entre 1952 et 2004, les sites marqués par un recul du front dunaire dans les sites de transport et les sites puits sont situés à proximité des sites associés aux fortes densités d'augmentation des pressions anthropiques. Sur le pas de temps 1952 – 1985, cette relation concerne tous les sites en recul, quelque soit leur localisation au sein des cellules sédimentaires. De même, entre 1985 et 2004, les sites en recul situés dans les sites puits sont localisés dans les secteurs marqués par une forte concentration de nouveaux chemins côtiers. Toutefois, la concentration d'une augmentation des contraintes anthropiques n'implique pas systématiquement un mouvement de recul.

Excepté pour la période 1985 – 2004, les résultats des analyses statistiques appuient les observations résultant des analyses spatiales. L'évolution du trait de côte, sur les pas de temps 1952-2004, et 1952-1985 paraît déterminée par des contraintes à la fois naturelles et anthropiques. La morphologie du site et sa localisation au sein des cellules sédimentaires expliquent une partie des mouvements observés du trait de côte. La concentration d'une augmentation des surfaces artificialisées et du nombre de chemins côtiers favorise, quant à elle, le recul du trait de côte. Entre 1985 et 2004, les variables décrivant les mouvements du trait de côte et les contraintes anthropiques sont indépendantes.

Le fonctionnement géomorphologique de la Baie de Quiberon, sur les moyen et long termes, paraît, à l'échelle de la baie, contrôlé par le jeu complexe des schémas de circulation sédimentaire et des contraintes morphologiques, mais également, à l'échelle plus locale des sites étudiés (polygones), par l'ensemble des contraintes anthropiques exercées sur la frange littorale.

### IV.3. La presqu'île de Rhuys

Contrairement aux deux systèmes dunes-plages précédents, les schémas de circulations sédimentaires sont moins facilement identifiés. Les courants de dérive littorale sont plus difficilement mis en relation avec les variations observées du trait de côte. La complexité des schémas de circulations sédimentaires tient à l'importance des platiers rocheux en bas de plage, des zones de roches dans les petits fonds et de l'importance de la zone de fetch et de l'orientation des côtes qui pourrait favoriser des transports sédimentaires *crossshore*.

Les variations du trait de côte sont marquées par des rythmes fortement discontinus : des périodes dominées par des processus d'érosion alternent avec des périodes dominées par des processus d'accrétion. D'une manière générale, la distribution spatiale des sites concernés par un recul du trait de côte est assez ubiquiste et peut difficilement être mise en relation avec la localisation du trait de côte au sein des cellules sédimentaires. Sur les pas de temps 1952-2004, 1985-1999 et 1999-2004, deux secteurs apparaissent toutefois enregistrer une avancée du front dunaire de manière plus pérenne. Il s'agit de la plage Saint Jacques et de la plage de Susicinio.

Comme dans les autres systèmes dunes-plages, l'évolution de la frange littorale est marquée par une forte anthropisation de l'espace depuis les années 1950, concernant l'ensemble du secteur étudié. Sur certains pas de temps, la distribution spatiale des secteurs caractérisés par une forte densité de l'augmentation de ces contraintes anthropiques peut être mise en relation avec la distribution spatiale des sites caractérisés par un recul ou une avancée du trait de côte.



Sur plusieurs pas de temps, les sites enregistrant un recul du front dunaire, au sein des sites de transports et des sites sources, et dans une moindre mesure au sein des sites puits, sont fréquemment localisés dans des secteurs caractérisés par une forte densité de l'augmentation du nombre de chemins côtiers. Les secteurs caractérisés par une augmentation forte à modérée des surfaces artificialisées ne sont pas systématiquement associés à un type de mouvement du trait de côte.

Les analyses statistiques corroborent en partie les observations réalisées à partir des analyses spatiales. Les résultats obtenus par les différentes ACM effectuées à partir des données concernant ce secteur mettent en évidence une dépendance statistique entre les variables caractérisant l'augmentation des contraintes anthropiques exercées sur la frange littorale et celles décrivant les mouvements de recul du trait de côte, notamment dans les sites sources. Par ailleurs, les analyses statistiques soulignent également l'importance de l'orientation des plages dans l'explication des mouvements du trait de côte. La morphologie et la position du trait de côte au sein des cellules sédimentaires interviennent également dans la définition des axes factoriels.

Le fonctionnement géomorphologique des plages de la Presqu'île apparaît ainsi relativement complexe sur les long et moyen termes. Les mouvements du trait de côte sont contrôlés par des contraintes de nature à la fois anthropiques et naturelles. Le fonctionnement hydrosédimentaire du secteur est largement complexifié par des contraintes morphologiques, et l'observation sur différents pas de temps de la distribution spatiale des sites en érosion et en accrétion ne permet pas d'apporter d'information claire sur les mouvements de sédiments opérant entre les plages sur les différents pas de temps étudiés.

#### **IV.4. La presqu'île rocheuse de Quiberon**

L'évolution des falaises de la presqu'île rocheuse de Quiberon, et plus particulièrement le recul du sommet des falaises, est dominée par un ensemble de facteurs, interconnectés les uns avec les autres.

Ces falaises correspondent majoritairement à des falaises rocheuses de type 4 (chapitre 1), excepté aux extrémités Nord et Sud de la presqu'île, constituées de falaises meubles de type 2 et 3. D'une manière générale, la Presqu'île est orientée Ouest. A une échelle plus locale, la forte sinuosité du trait de côte implique que plus de 60% du trait de côte soit exposé Ouest, Sud-Ouest ou Nord-Ouest. Les couverts végétaux dominants, établis sur le sommet des falaises, sont de types 1 et 2 (Chapitre 1). L'ensemble de ces contraintes contribue à expliquer la répartition spatiale des différentes ampleurs du recul du sommet des falaises entre 1952 et 2004. En effet, les vitesses de recul les plus importantes sont situées au Nord et au Sud, au niveau des falaises meubles alors que les vitesses de recul plus faibles concernent principalement les falaises rocheuses.

Au sein des falaises rocheuses, des reculs compris entre 4m et 6m, voire localement supérieurs à 6m sont toutefois observés entre 1952 et 2004. Ces sites sont situés à proximité des secteurs caractérisés par une forte densité d'augmentation du nombre de chemins côtiers où le couvert végétal est dégradé et où la roche constituant l'horizon supérieur de la falaise est affleurante.

Le résultat des analyses statistiques confirme ces résultats en mettant en évidence que les différentes classes de recul des falaises sont dépendantes des variables décrivant les contraintes naturelles telles que le type de falaise, renvoyant à la structure lithologique, le type et l'état du couvert végétal et l'exposition des falaises aux agents d'abrasion marine. La combinaison de ces différentes variables permet de mettre en évidence différents groupes de falaises. En outre, les classes de recul les plus importantes apparaissent dépendantes des contraintes anthropiques exercées sur le sommet des falaises.

A partir de ces observations, l'évolution des falaises de la presqu'île de Quiberon apparaît contrôlée à la fois par des contraintes naturelles et anthropiques.

#### **IV.5. Le Golfe du Morbihan**

Dans le Golfe du Morbihan, la répartition spatiale des différentes vitesses de recul observées est relativement homogène et ubiquiste, tout comme la distribution spatiale des différentes contraintes répertoriées pour analyser les facteurs contrôlant le recul du sommet des falaises. Seules les falaises meubles de type 3, caractérisées par des hauteurs plus importantes et un horizon d'altération moins important par rapport à la hauteur des falaises, sont concentrées à l'entrée du Golfe du Morbihan, à l'Ouest de l'île aux Moines.

Les cartes ont permis de mettre en relation la distribution spatiale des différentes classes de recul mesurées entre 1952 et 2004 avec la répartition spatiale des contraintes susceptibles de contrôler les mouvements de recul du sommet des falaises. Les vitesses les plus faibles de recul concernent tous les types de falaises. De plus, elles sont fréquentes dans les secteurs caractérisés par une densité forte de végétation arbustive et buissonnante sur le sommet des falaises. A l'inverse, les valeurs de recul les plus importantes sont plus fréquentes pour les falaises de type 2, notamment dans les secteurs caractérisés par une forte densité de couverture végétale arborée sur le sommet des falaises. Les cartes présentant la répartition des différentes classes de recul en fonction de la densité de l'augmentation des contraintes anthropiques ne permettent pas de dégager des tendances nettes. D'une manière générale, la localisation et la densité des surfaces artificialisées ou des chemins côtiers établis sur le sommet des falaises ne paraissent pas influencer sur la distribution spatiale des vitesses de recul.

A partir de ces observations, les différentes ampleurs de recul observées, dans le Golfe du Morbihan, semblent résulter de la combinaison entre des facteurs géologiques (nature de la roche/hauteur de la falaise) et le type de végétation établie sur le sommet des falaises. Les analyses statistiques confirment ces observations en établissant des liens de dépendance entre les variables caractérisant les types de falaises et les types de végétation, et celles décrivant les différentes classes de recul. Ces analyses permettent en effet de distinguer trois groupes de falaises au sein du Golfe, chacun caractérisé par des vitesses de recul, un type de falaise et un type de couvert végétal dominant différents.

Contrairement à ce qui est observé sur les falaises de la presqu'île de Quiberon, les différentes contraintes anthropiques exercées sur la frange littorale ne semblent pas interagir avec les mécanismes qui contrôlent l'érosion gravitaire des falaises dans le Golfe du Morbihan. L'évolution de ces dernières paraissent largement contraintes par la structure géologique et lithologique de la falaise, ainsi que par le type de végétation établi sur le sommet des falaises.

### Synthèse générale du chapitre 5

L'interprétation synthétique des différents résultats discutés au sein de ce chapitre a permis de dessiner les grandes lignes du comportement géomorphologique des systèmes côtiers étudiés en Bretagne Sud.

Dans un premier temps, l'analyse des photographies aériennes verticales a permis de quantifier et cartographier les variations du trait de côte au sein des cinq systèmes côtiers étudiés. Cette première étape a abouti à une description de l'évolution de chaque système littoral.

Dans un deuxième temps, un ensemble de traitements ont été réalisés afin d'expliquer les variations du trait de côte. D'une manière générale, la démarche adoptée pour effectuer ces analyses repose sur les principes de l'analyse spatiale et s'appuie sur les notions de corrélations spatiales. Dans le cadre de ces travaux, l'utilisation de données qualitatives n'a pas permis de mettre en place une analyse quantitative des potentielles corrélations spatiales liant les phénomènes étudiés. L'approche développée s'est essentiellement intéressée à la localisation des sites en érosion et en accrétion et à la localisation des contraintes, naturelles et anthropiques, exercées sur le trait de côte. Elle s'est employée à rechercher les logiques spatiales expliquant ces différentes distributions. Ces traitements ont été effectués en trois étapes : la première étape a consisté à créer une base de données regroupant l'ensemble des facteurs ou des variables dont la localisation est susceptible d'influencer la répartition spatiale des sites en érosion et en accrétion. Cette première étape a nécessité un travail préalable permettant d'identifier, de caractériser et de localiser ces contraintes. Elle a abouti à l'identification de schémas de transports sédimentaires et des limites des cellules sédimentaires au sein des systèmes dunes-plages. Au sein des systèmes de falaises, elle a abouti à une identification des types de falaises et des types de couvert végétal. La seconde étape a consisté à identifier des associations spatiales pouvant correspondre à des types de comportements géomorphologiques, en analysant les relations entre les différentes concentrations de ces variables, sur différents niveaux scalaires. La troisième étape s'est appuyée sur un ensemble d'analyses statistiques. Elle a cherché à vérifier les liens de dépendances statistiques entre les variables correspondant aux associations spatiales identifiées à partir de l'étape 2. L'ensemble de ces analyses a permis de discuter les modes de comportements géomorphologiques animant les systèmes littoraux et expliquant les variations spatiales et temporelles du trait de côte.

Dans un troisième temps, l'ensemble des résultats a été synthétisé et discuté pour chaque système littoral afin de mettre clairement en évidence les modes de comportements géomorphologiques caractérisant leur évolution entre 1952 et 2004. Plusieurs points sont mis en évidence : tout d'abord, conformément aux observations discutées en introduction et au chapitre 1, les systèmes côtiers sont marqués par une forte anthropisation de l'espace littoral depuis les années 1950.

Ensuite, l'évolution des systèmes côtiers apparaît être animée par au moins deux logiques contrôlant la distribution des sites érosion et en accrétion sur différents niveaux scalaires. A l'échelle des systèmes côtiers, l'évolution du trait de côte est avant tout associée à un certain nombre de contraintes naturelles. Au sein des systèmes dunes-plages, la localisation des sites au sein des cellules sédimentaires contribue à expliquer leur évolution. Au sein des systèmes de falaises, les types de falaises et les types de couvert végétal expliquent les différentes vitesses de recul observées. A une échelle plus fine, des logiques plus complexes, résultant d'une interaction entre contraintes naturelles et contraintes anthropiques semblent expliquer la distribution de sites en érosion et en accrétion. En effet, hormis dans le Golfe du Morbihan, la forte anthropisation qui marque l'espace littoral Sud breton depuis les années 1950 semble interagir avec les dynamiques littorales contrôlant son évolution, ou du moins participer à l'explication de la répartition spatiale des processus d'érosion et d'accrétion. Bien que cette observation ne soit pas systématiquement vérifiée sur tous les pas de temps étudiés, les contraintes anthropiques, lorsqu'elles sont fortement concentrées dans un secteur, semblent favoriser localement les processus de recul du trait de côte. Ces associations entre contraintes naturelles et contraintes anthropiques doivent être interprétées avec prudence : les données analysées dans le cadre de ces travaux ne permettent pas d'affirmer qu'elles contrôlent les mouvements du trait de côte à partir d'un lien de causalité directe. Toutefois, l'impact des contraintes anthropiques exercées sur le trait de côte a été discuté dans la littérature (Chapitre 4). A partir de ces travaux, il est possible de formuler l'hypothèse que les associations spatiales observées entre certaines contraintes anthropiques et les mouvements de recul ou d'avancée du trait de côte traduisent des interactions entre contraintes anthropiques et contraintes naturelles, influençant, à une échelle fine, l'évolution des systèmes côtiers.

## CHAPITRE 6 : RISQUES ET VULNERABILITE DES SYSTEMES COTIERS FACE AU RECU DU TRAIT DE COTE

Les résultats discutés au chapitre 5 ont permis de souligner la complexité des comportements géomorphologiques contrôlant les mouvements du trait de côte en Bretagne Sud. Ces derniers paraissent dépendants de l'occurrence d'au moins deux types de logiques, opérant à différentes échelles spatiales. A l'échelle des systèmes côtiers, l'évolution du trait de côte est dépendante d'un ensemble de contraintes associées à des forçages naturels. A une échelle fine, la localisation des sites en érosion et en accrétion traduit également l'occurrence de certaines formes d'interactions entre contraintes naturelles et contraintes anthropiques. Parallèlement, l'évolution des systèmes côtiers est marquée par une forte anthropisation de l'espace littoral. Ce dernier point fait écho aux observations discutées en introduction et au sein de la partie I. Les résultats discutés précédemment ont permis de quantifier, en partie, les différentes formes d'anthropisation associées à l'évolution des formes littorales. Par ailleurs, les travaux de Debout (2010) ont montré que l'anthropisation de l'espace littoral dans un contexte d'élévation régionale du niveau des mers contribue à créer « *des territoires à risques* ». En Bretagne, les rythmes actuels d'élévation du niveau des mers et l'évolution morphologique du littoral contribuent à accroître sa sensibilité aux risques d'érosion côtière (Regnaud et al., 2005). Dans ce contexte, le chapitre 6 propose de replacer dans une perspective plus globale, en lien avec la problématique générale posée par ce travail de thèse, l'ensemble des données et des résultats discutés jusqu'à présent. Il cherche à analyser l'incidence de la complexité des modes de fonctionnements géomorphologiques, décrits au chapitre 5, sur les définitions des risques associés au recul du trait de côte et sur la définition de la vulnérabilité des systèmes côtiers étudiés face au risque d'érosion côtière. Ce chapitre est divisé en trois parties. La première partie rappelle les principales définitions utilisées pour caractériser le risque et la vulnérabilité des systèmes côtiers. La seconde partie synthétise les informations relatives à l'occurrence des processus érosifs. Enfin, la troisième partie aborde les problématiques liées aux notions de risque et de vulnérabilité face au recul du trait de côte en Bretagne Sud.

### I. LES CONCEPTS DE RISQUE ET DE VULNERABILITE EN GEOMORPHOLOGIE LITTORALE

Cette première partie synthétise les principales définitions associées aux concepts de risque et de vulnérabilité en géomorphologie littorale. Loin de proposer une présentation et une analyse complètes ou exhaustives des recherches actuellement menées sur le sujet, cette partie a essentiellement pour objectif de présenter le cadre théorique à travers lequel sont menées les réflexions développées au sein de ce chapitre.

### I.1. Le risque et les risques côtiers : éléments de définition

Les définitions les plus simples du risque le situent à l'intersection entre la probabilité de l'occurrence d'un aléa d'une part, et la vulnérabilité du système social et environnemental susceptible d'être affecté d'autre part (*White, 1973, Robin, 2002a, Pigeon, 2005*). L'aléa est généralement perçu comme un élément exogène au système social et environnemental qu'il affecte, introduisant une perturbation d'origine naturelle ou anthropique (*Füssel, 2007*). A l'inverse, la vulnérabilité est définie par les caractéristiques endogènes du système territorial, qui lui permettent de s'adapter ou pas aux conséquences provoquées par l'occurrence de l'aléa.

Produit de l'aléa et de la vulnérabilité, le risque s'apparente également à une construction sociale résultant des perceptions par les individus ou les groupes sociaux d'un processus ou d'un événement potentiellement dangereux (*Veyret et de Richemond, 2003*). Le risque est avant tout potentiel. Appréhendé en terme de fréquence et de potentialité, il se distingue de la catastrophe et de la crise qui correspondent à des formes de réalisation concrète des conséquences associées à l'occurrence d'un aléa.

De nombreuses typologies de risque ont été réalisées. Les typologies classiques, basées sur la nature des aléas, identifient des risques technologiques, les risques sociétaux, des risques politiques ou des risques naturels (*Pigeon, 2005*). Les risques sont qualifiés de naturels lorsque les aléas qui participent à la production du risque résultent de processus naturels. Ces risques naturels sont eux-mêmes classés en différentes catégories selon l'intensité et les rythmes marquant l'occurrence des phénomènes ou processus constituant l'aléa (*Scheidegger, 1994*). Ils peuvent être génériques et concerner tous types de milieux, ou non génériques et s'appliquer uniquement à certains types de milieux (*Robin, 2002*). Les risques peuvent également être classés en fonction du type de vulnérabilité induite par les mécanismes qui contrôlent l'aléa. Sur la zone côtière, la complexité des interactions entre dynamiques littorales, évolution des paysages côtiers et actions d'aménagement conduit à distinguer deux aspects du risque côtier : le risque sociétal qui affecte les composantes sociétales du système côtier et le risque côtier écosystémique qui affecte les composants écologiques, physiques ou naturels du système côtier (*Robin, 2002a*). Caude et Mazzolini (1987) ont recensé l'ensemble des risques susceptibles d'affecter les côtes françaises. Ces derniers incluent des risques génériques et non génériques, d'origine naturelle ou anthropique tels que les risques industriels. D'une manière générale, les risques non génériques et naturels susceptibles d'affecter les systèmes côtiers sont les risques d'érosion côtière et de submersion marine. Affectant l'espace côtier à différentes échelles de temps et d'espace, ils constituent des risques naturels spécifiquement associés à leur position particulière entre terre et mer (*Carter, 1999, Masselink et Hedges, 2003*).

Les réflexions au sein de ce chapitre s'appuient sur les résultats discutés au sein des chapitres précédents. Par conséquent, elles s'intéressent principalement au risque d'érosion côtière, associé aux évolutions géomorphologiques des systèmes côtiers, et se traduisant sur le terrain par un recul du trait de côte.

## **I.2. La vulnérabilité des systèmes littoraux : éléments de définition**

Le terme de vulnérabilité est abondamment utilisé en géographie. Il réfère à un large panel de définitions, de situations et de cadres analytiques (*Adger, 2006, Vogel et al., 2007, Birkmann, 2007, Füssel, 2007, Pigeon, 2005*). En géographie, il est utilisé comme un instrument de mesure pour appréhender l'importance et la nature des dégâts susceptibles d'affecter un système territorial lorsque ce dernier est exposé à un aléa (*Füssel, 2007*). La vulnérabilité est définie par les caractéristiques endogènes du système territorial, qui lui permettent de s'adapter aux conséquences provoquées par l'occurrence de l'aléa.

Elle englobe l'ensemble des conditions ou des données propres à un système social, qui lui permettent de répondre d'une manière bien spécifique à l'impact de l'aléa, en terme de perte ou de destruction (*Birkmann, 2007*). Dans cette perspective, le degré de vulnérabilité d'un système littoral est associé au concept de résilience, défini comme la capacité d'un système territorial à supporter un stress émanant de l'extérieur et à retrouver son état initial (*Klein et al, 2003*).

D'un point de vue purement mécanique, la résilience d'un matériel est la qualité qui lui permet de stocker de l'énergie et de la restaurer élastiquement sous l'influence d'un poids sans être cassé ou déformé (*Gordon, 1978*). Depuis les années 1970, ce terme est utilisé pour désigner la capacité d'un système à supporter un stress émanant de l'extérieur et à retrouver son état initial.

La résilience est perçue comme une qualité réduisant la vulnérabilité des systèmes sociétaux et/ou environnementaux face à des aléas extérieurs, ou en partie contrôlés par les interactions entre les processus physiques qui génèrent l'aléa et les divers aspects de la sphère sociétale qu'ils sont susceptibles d'impacter (*French et al., 2006*). L'analyse géographique des risques utilise le concept de résilience pour décrire la capacité de la société à surmonter une catastrophe (*D'Ercole et Pigeon, 1999*).

D'un point de vue géomorphologique, la résilience d'une forme littorale dépend de sa capacité à se maintenir, sur le long terme, malgré les variations, à court terme, des forçages qui contrôlent son fonctionnement (*Orford et al., 2002, Long et al., 2006*).



Elle est fonction des processus de rétroaction existant entre contraintes sédimentaires (*Regnauld et al., 2004*) et contraintes hydrodynamiques qui permettent au système littoral de s'auto-organiser et de maintenir l'existence des formes littorales (*Orford et al., 2002*).

Ainsi, d'une manière générale la résilience d'un système côtier dépend de l'ensemble des processus sociétaux et géomorphologiques qui favorisent le maintien des formes littorales et leurs utilisations par les sociétés établies sur la frange côtière. Les travaux de Vogel et al (2007) mettent en évidence que la notion de résilience possède également une dimension sociétale : la résilience d'un littoral est aussi fonction de son utilisation par les sociétés établies sur la frange côtière. Dans cette perspective, la résilience des formes littorales est « socialement entretenue » et peut être analysée à travers une approche systémique. Analysant la vulnérabilité des espaces côtiers, Meur Férec (2008) distingue ainsi quatre éléments participant à la définition de la vulnérabilité: les aléas, les enjeux, la gestion et la perfection.

## II. ANALYSE DE L'OCCURRENCE DES PROCESSUS EROSIFS EN BRETAGNE SUD ENTRE 1952 ET 2004 ET ANALYSE DES INTERACTIONS ENTRE « CONTRAINTES NATURELLES » ET « CONTRAINTES ANTHROPIQUES »

Cette seconde partie a pour objectif de synthétiser l'ensemble des informations issues des discussions précédentes (Chapitre 5), concernant l'occurrence des processus érosifs entre 1952 et 2004 au sein des cinq systèmes côtiers étudiés. La synthèse de cette information apparaît nécessaire pour discuter par la suite des enjeux - en terme de risque et de vulnérabilité - associés aux mouvements de recul du trait côte en Bretagne Sud. L'objectif de cette partie est ainsi de rappeler, dans un premier temps, la localisation des espaces concernés par un mouvement de recul du sommet des falaises ou du front dunaire, en faisant référence aux cartes discutées au sein du chapitre 5. Par ailleurs, elle entend également identifier les variables fréquemment associées aux mouvements de recul dans ces espaces. La discussion établie à partir de ce dernier aspect de l'analyse invite, dans un second temps, à discuter des interactions existant entre contraintes naturelles et contraintes anthropiques.

### II.1. Analyse synthétique des processus érosifs associés au recul des fronts dunaires

A l'échelle régionale, sur les long et moyen termes, l'évolution du trait de côte au sein des systèmes dunes-plages est principalement comprise comme le résultat des transports sédimentaires dominés par les courants de dérive littorale (chapitre 5).

Au sein du massif dunaire Gâvres-Penthièvre, l'analyse combinée de la répartition spatiale des secteurs marqués par un recul et une avancée du trait de côte entre 1952 et 2004, et l'analyse de la distribution des contraintes anthropiques et naturelles associées à ces mouvements a permis de mettre en évidence la localisation des secteurs où le recul du trait de côte est important. D'une manière générale, ils sont situés :

- Majoritairement dans les sites sources, et localement dans les sites de transports et les sites puits entre 1952 et 2004 (Carte II.21), 1952 et 1985 (Carte II.22) et 1984 et 1999 (Carte II.23).
- Sur l'ensemble du massif dunaire, indépendamment de la position du trait de côte par rapport aux cellules sédimentaires pour les périodes 1999-2000 (Carte II.23) et 2000-2004 (Carte II.24).

De plus, sur l'ensemble des pas de temps étudiés, trois secteurs paraissent toujours caractérisés par un recul du trait de côte (Carte II.1). Il s'agit de la pointe et de la plage de Gâvres, au Nord du massif dunaire, de la plage de Kerhillio au Sud-Est de la ria d'Etel et, dans une moindre mesure, des plages situées au Sud du massif dunaire.

Le Nord du massif dunaire et la plage de Kerhillio s'apparentent à des sites sources (Carte II.12). Situés en amont des courants de dérive littorale, les reculs du trait de côte, dans ces deux secteurs, paraissent ainsi contrôlés par des contraintes morphologiques et hydrodynamiques inhérentes au fonctionnement géomorphologique, sur le long terme, du système côtier. De plus, sur différents pas de temps, le recul des falaises de Gâvres est spatialement associé à une forte densité de l'augmentation des surfaces bâties et artificialisées, et à une densité forte à modérée de l'augmentation du nombre de chemins côtiers (Carte II.35). Plus au Sud, les sites en érosion sont situés dans des sites puits. Sur plusieurs pas de temps, les poches d'érosion localisées au Sud du massif dunaire sont également situées dans des secteurs associés à une forte augmentation de la densité de contraintes anthropiques (Carte II.35), (Carte II.38) et (Carte II.39).

Au sein de la Baie de Quiberon, l'évolution du trait de côte est caractérisée par une alternance de périodes où dominant les processus d'érosion et d'accrétion conduisant au recul et à la progradation du front dunaire. Les secteurs où le recul du trait de côte est important sont situés :

- Majoritairement dans les sites sources, localement dans les sites de transports et, dans une moindre mesure, dans les sites puits entre 1952 et 2004 (Carte II.25) et entre 1985 et 2004 (Carte II.27),
- à la fois dans les sites sources et les sites de transports, et localement dans les sites puits, entre 1952 et 1984 (Carte II.26).

Lorsque les sites marqués par un recul du trait de côte sont situés dans les sites sources ou dans les sites de transports, l'occurrence des processus érosifs paraît avant tout contrôlé par des contraintes naturelles, morphologiques ou hydrodynamiques. Les résultats discutés au chapitre 5 soulignent toutefois également que ces mouvements de recul sont associés à une forte densité de l'augmentation des surfaces artificialisées et/ou du nombre de chemins côtiers (Carte II.25). Au sein des sites puits, l'occurrence des processus érosifs est moins cohérente avec les contraintes hydrodynamiques régissant le fonctionnement géomorphologique de la baie. Une partie de ces sites sont associés à des variables caractérisant une augmentation des contraintes anthropiques (Carte II.25 et Carte II.41, Carte II.26 et Carte II.42).

Sur le long terme, l'évolution du trait de côte, au sein de la Presqu'île de Rhuys, est caractérisée par une alternance spatiale et temporelle de mouvements d'érosion et d'accrétion. L'ensemble des analyses discuté au chapitre 5 a permis de mettre en évidence que les sites caractérisés par un mouvement de recul du trait de côte sont majoritairement situés dans les sites sources et dans les sites de transports, entre 1952-2004 (Carte II.28) et 1985-1999 (Carte II.30). Sur les pas de temps 1952-1985 (Carte II.29) et 1999-2004 (Carte II.31), ils sont situés sur l'ensemble du massif dunaire, indépendamment de la position du trait de côte par rapport aux cellules sédimentaires. De plus, ces mouvements de recul du trait de côte semblent être dépendants de contraintes à la fois naturelles et anthropiques telles que : le type de morphologie, la position par rapport aux courants de dérive littorale, l'orientation de la ligne du rivage et la concentration des pressions anthropiques exercées sur le massif dunaire. A la différence des deux systèmes dunes-plages présentés précédemment, la complexité du fonctionnement hydrodynamique du secteur ne permet pas de différencier des sites dans lesquels le recul du trait de côte paraît contrôlé par des contraintes moins naturelles que anthropiques. Seules les plages de saint Jacques et de Suscinio (Carte II.44 et Carte II.47) pourraient être assimilées, dans une certaine mesure, à des sites puits au sein desquels les mouvements de recul du trait de côte sont susceptibles d'être contrôlés par des contraintes autres que celles impulsées par l'hydrodynamisme du secteur.

## **II.2. Analyse synthétique des processus érosifs associés au recul du sommet des falaises de la presqu'île de Quiberon et du Golfe du Morbihan**

Concernant les falaises rocheuses de la Presqu'île de Quiberon, les reculs les plus importants sont rencontrés dans deux types de secteurs (Chapitre 5) :

- Les secteurs où les falaises sont constituées de roches meubles et où les pressions anthropiques sont denses (Carte II.32 et Carte II.33),

- Les secteurs où les falaises sont constituées de roches dures, où la concentration des contraintes anthropiques exercées sur le sommet des falaises est importante et augmente fortement entre 1952 et 2004, et où le sommet des falaises est dépourvu de couverture végétale (Carte II.32 et Carte II.33),

Ainsi, les plus fortes ampleurs de recul du sommet des falaises sont déterminées par la combinaison de trois facteurs principaux (Carte II.48): la nature de la roche, l'absence de couvert végétal et une forte concentration de l'augmentation des contraintes anthropiques, et notamment du nombre de chemins côtiers.

Dans le Golfe du Morbihan, les reculs les plus importants sont observés dans les secteurs où les falaises, élaborées dans des matériaux meubles, sont caractérisées par une hauteur inférieure à 5m, un sol peu épais, un horizon d'altération important, et sont colonisées par une végétation arborée (Carte II.34). La combinaison de ces contraintes semble contribuer à favoriser l'érosion par chablis, directement liée à la présence d'une végétation arborée sur le sommet d'une falaise (Carte II.49). La croissance du réseau de racines favorise la percolation des eaux de pluie le long d'itinéraires privilégiés dans le substratum et accentue ainsi, localement, les processus d'altération de la roche. Il en résulte une érosion accrue de la falaise. Par ailleurs, lorsque le recul de la falaise devient trop important, les arbres ne peuvent plus se maintenir sur le sommet des falaises. Ils s'affaissent alors, entraînant dans leur chute des monceaux de terre, accentuant fortement le recul de la falaise.

Dans le Golfe du Morbihan, ces processus d'une érosion par chablis sont favorisés lorsque les arbres sont établis sur des falaises petites, fortement altérées. Dans ce cas, la déstabilisation de l'horizon d'altération est rapide et le poids de l'arbre par rapport à la profondeur d'enracinement des racines favorise leur chute (*Pian, 2006, Pian et al., 2007*).

### **II.3. Le rôle des interactions nature-société dans le fonctionnement des systèmes côtiers**

Cette section s'intéresse de manière plus détaillée aux conséquences des interactions entre contraintes naturelles et contraintes anthropiques sur le fonctionnement des systèmes côtiers. Les synthèses discutées précédemment ont mis en évidence que ces interactions semblaient, dans certains secteurs, favoriser le recul du trait de côte. En effet, aussi bien dans les systèmes de dunes-plages que sur la Presqu'île de Quiberon, ces interactions se traduisent par une association spatiale et des liens de dépendance statistique entre les variables : concentration des pressions anthropiques/contraintes naturelles/recul du trait de côte.

En prenant en compte l'incidence d'une artificialisation de la frange littorale et des chemins côtiers sur l'évolution des formes littorales (Chapitre 4), ces associations spatiales et ces liens de dépendance statistiques peuvent être interprétés de deux manières différentes, détaillées au sein de cette section. Par ailleurs, dans d'autres secteurs, la combinaison des contraintes naturelles et contraintes anthropiques n'est pas associée à un mouvement de recul du trait de côte. Un dernier point de cette section est consacré à l'analyse de ces secteurs.

### II.3.1. Une possible accélération des processus érosifs

Le premier type d'association *contraintes naturelles/contraintes anthropiques/recul du trait de côte* concerne des secteurs où le recul du trait de côte se produit en association avec une augmentation des pressions anthropiques, alors que les contraintes naturelles associées aux mouvements du trait de côte favorisent également l'occurrence de processus érosifs.

Les falaises de la Presqu'île de Quiberon (Photo II.2), de la pointe de Gâvres, de la baie de Quiberon ou de la Presqu'île de Rhuys offrent un exemple de ce type d'association. Dans ces secteurs, le recul du trait de côte est en grande partie déterminé par les facteurs contrôlant les processus d'érosion maritime et gravitaire. Toutefois, les résultats discutés précédemment ont mis en évidence que sur certains pas de temps, l'augmentation des pressions anthropiques est statistiquement liée et spatialement associée à des reculs de plus grande ampleur. Dans ce contexte, le concept d'érosion accélérée discuté par Neboit-Guihot (1999) permet une interprétation possible des interactions entre les dynamiques naturelles et les contraintes anthropiques. L'interaction entre les dynamiques littorales favorisant le recul du trait de côte et la concentration d'une augmentation des contraintes anthropiques exercées sur la côte aboutit à la mise en place de *processus érosifs accélérés* (Neboit-Guihot, 1999), dans la mesure où les rythmes caractérisant les processus d'érosion littorale sont modifiés par les contraintes anthropiques. Une telle accélération des processus érosifs a également été reportée par Miossec (1998), notamment à proximité des stations balnéaires des côtes vendéennes.

Ces phénomènes sont observés sur les falaises rocheuses dépourvues de végétation de la Presqu'île de Quiberon. Dans ce secteur, l'absence de couverture végétale et les pressions exercées par les piétinements associés à la présence de chemins côtiers contribuent à accélérer les processus d'érosion subaérienne et à accentuer le recul des falaises. Ces phénomènes sont également observés sur les falaises constituées à partir de matériaux meubles, à Gâvres, dans la baie de Quiberon et sur la Presqu'île de Rhuys où s'ajoutent aux effets des chemins côtiers, l'accroissement des surfaces bâties et l'artificialisation du sommet des falaises dans une bande de 100m.



*Photo II.2 : Recul des falaises de la côte Sauvage de Quiberon associée à la présence d'un chemin et d'une dégradation de la couverture végétale (Février 2008)*

Dans le Golfe du Morbihan, l'action érosive associée à la fréquentation des chemins piétons et à l'artificialisation du sommet des falaises n'est pas vérifiée. Les reculs les plus importants ne sont pas associés à ce type d'anthropisation de l'espace littoral. Le facteur le plus discriminant, qui permet de différencier différents types de falaises et de recul, est constitué par le type de végétation présent sur le sommet des falaises. La discussion précédente a mis en évidence que les petites falaises meubles sont caractérisées par des vitesses de recul plus importantes lorsqu'elles sont colonisées par une végétation de type arboré. Cette végétation de type arboré est principalement constituée de pins et de cyprès introduits par l'homme au cours du XIX<sup>e</sup> siècle (*Richard et Pallier, 1996*). Ce sont des arbres ornementaux qui répondent à des besoins sociaux et culturels, en terme de production paysagère (*Roger, 1997, Salomé, 2000*).

Dans ce contexte, l'introduction de ces espèces végétales peut être considérée comme une contrainte anthropique. Les interactions entre ce type de végétation, la structure géologique de la falaise et les processus de recul subaériens accentuent le recul de la falaise par chablis. Dans le cas du Golfe du Morbihan, l'érosion par chablis (Photo II.3) peut être ainsi interprétée comme une forme particulière d'érosion accélérée, s'inscrivant dans des boucles d'interactions entre contraintes naturelles et anthropiques, marquées par des interférences d'échelles temporelles. En effet, l'accélération du recul de la falaise par chablis intervient plusieurs années, voire plusieurs décennies après l'introduction de l'espèce arborée par l'Homme. Les données cartographiées sur la carte II.49 mettent en évidence que ce phénomène est susceptible de concerner 3.5 % des sites cartographiés le long des falaises du Golfe du Morbihan entre 1952 et 2004, à partir de l'ACM et de la CAH.

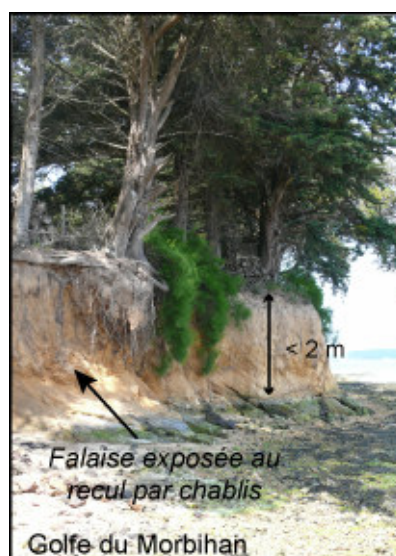


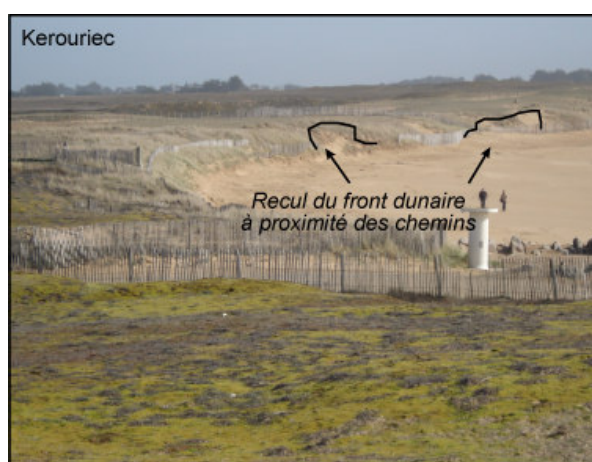
Photo II.3 : Exemple de falaise exposée au recul par chablis dans le Golfe du Morbihan (Juin 2007)

L'accélération des processus érosifs concerne également le recul des dunes situées dans les sites de transports ou les sites puits où l'augmentation des cheminements piétons et des surfaces bâties (parking) contribue à accentuer le recul du front dunaire. Dans ces secteurs, le recul du front dunaire est contrôlé d'une part, par l'action des courants de houle et des vagues de tempête, et d'autre part par l'augmentation des pressions anthropiques (surfaces bâties et nombre de chemins). En effet, les analyses spatiales ont mis en évidence l'existence d'une forte association spatiale entre les secteurs où la densité des pressions anthropiques est forte et la localisation de poches d'érosion dans les sites sources et les sites puits. De même, les analyses statistiques ont mis en évidence une dépendance statistique entre ces variables sur les mêmes pas de temps. Dans ce contexte, il est possible de considérer que ces secteurs soient concernés par une forme d'accélération anthropique des processus érosifs.

### II.3.2. Introduction de formes d'ablation d'origine anthropique

Le deuxième type d'association *contraintes naturelles/contraintes anthropiques/recul du trait de côte* concerne les secteurs où le recul du trait de côte se produit en association avec une augmentation des pressions anthropiques, alors que les contraintes naturelles qui contrôlent l'évolution des formes littorales favorisent les processus d'accumulation sédimentaire. En Bretagne Sud, les secteurs situés dans des sites puits, où le front dunaire est marqué par un mouvement de recul associé à une forte et dense augmentation des pressions anthropiques, offrent un exemple de ce type d'association.

Dans ces secteurs, les apports sédimentaires délivrés par les courants de dérive littorale favorisent l'engraissement de la plage et la progradation du front dunaire sur le temps long. Toutefois, l'analyse des variations du trait de côte a permis d'identifier, à l'échelle locale, des secteurs marqués par un recul du front dunaire. L'analyse spatiale des relations de voisinage a mis en évidence que ces poches d'érosion sont situées à proximité des densités les plus fortes des contraintes anthropiques (augmentation du nombre de chemins côtiers et augmentation des surfaces artificialisées). Les résultats des analyses spatiales sont appuyés sur certains pas de temps par les résultats des analyses statistiques. De plus, les travaux de Liddle et Grieg Smith (1975), Hylgaard et Liddle (1981) ou Nordstorm (2000) ont montré que le piétinement dans les dunes pouvait conduire à l'apparition de brèches (Photo II.4).



*Photo II.4 : Localisation de formes d'abrasion sur le front dunaire à proximité des chemins*

Ainsi, dans ces secteurs, les formes d'ablation mises en place au niveau du front dunaire traduisent ainsi moins l'occurrence d'un transport sédimentaire contrôlé par des agents hydrodynamiques que les effets des pressions anthropiques exercées sur la dune bordière. Ces formes d'ablation s'apparentent à des brèches interrompant la continuité du front dunaire en progradation. Elles correspondent à des polygones caractérisés par une surface de recul peu importante, appartenant généralement aux classes 1 à 3, exceptionnellement 4. Elles sont ainsi caractérisées par une extension spatiale faible ou modérée et s'apparentent à des formes mineures d'érosion, avec une emprise essentiellement locale. Toutefois, sur certains pas de temps elles sont fréquentes, notamment entre 1952 et 2004 ou entre 2000 et 2004 au Sud du massif dunaire, entre 1952 et 2004 ou entre 1952 et 1985 sur les plages de Carnac et entre 1999 et 2004 au niveau des plages de Susicinio. Pour exemple, en se basant sur les données cartographiées à partir des CAH sur les cartes II.36, II.40, II.41 et II.47, ces formes de recul concernent respectivement 0.39%, 0.05%, 0.2% et 0.8% du total des surfaces concernées par un recul du front dunaire entre 1952 et 2004 et entre 2000 et 2004 pour le massif dunaire Gâvres-Penthièvre, entre 1952 et 2004 en baie de Quiberon et entre 1999 et 2004 sur les plages de la presqu'île de Rhuys.



Au sein de la baie de Quiberon, entre 1952 et 1985, le nombre de sites marqués par un recul du front dunaire, localisés dans un site puits et associés à une multiplication du nombre de chemins représente 11% du total des sites en érosion au sein des dunes.

### *II.3.3. Des interactions contraintes anthropiques/contraintes naturelles favorisant la mise en place de formes d'accumulation*

Toutefois une forte concentration des contraintes anthropiques n'implique pas systématiquement un recul du trait de côte (Chapitre 5). Le développement des surfaces couvertes par les schorres et la progradation du front dunaire sont également observés dans des secteurs caractérisés par une forte concentration des contraintes anthropiques mises en place sur le pas de temps considéré.

Au sein du massif dunaire, entre 1984 et 1999, les plages situées au Sud-Est de la ria d'Etel enregistrent une progradation du front dunaire dans des secteurs caractérisés par une implantation dense de chemins côtiers. De manière beaucoup plus locale, l'évolution de la plage de Gâvres au Nord du massif, dans un site source, est caractérisée par des poches locales d'accrétion entre 1952 et 2004. Au sein de la baie de Quiberon, la partie méridionale de la flèche de Penn er Lè offre également un exemple de site enregistrant une forte progradation du massif dunaire entre 1952 et 1985 et entre 1985 et 2004, parallèlement à une densification du nombre de chemins côtiers et une forte artificialisation du littoral sur ces périodes. Ce phénomène est également observé sur les plages de Carnac entre 1952 et 1985, et dans une moindre mesure au sein des surfaces couvertes par les schorres dans la baie de Plouharnel. De la même façon, entre 1952 et 2004, l'évolution de la plage de Saint Jacques est marquée, d'une part par des processus d'accumulation favorisant le développement de la dune, d'autre part par une artificialisation dense de la frange littorale.

L'artificialisation du littoral n'engendre pas ainsi systématiquement une augmentation ou une concentration des processus érosifs.

Des secteurs caractérisés par d'importantes concentrations de contraintes anthropiques enregistrent une avancée du trait de côte sur le même pas de temps. Au sein des massifs dunaires, ces secteurs sont situés dans les trois types de sites identifiés au sein des cellules sédimentaires, à savoir les sites sources, les sites puits, les sites de transports. Dans les sites de transports et les sites puits, les observations discutées précédemment peuvent être interprétées comme une forme d'interaction entre les contraintes naturelles et les contraintes anthropiques aboutissant à une minimisation de l'impact des pressions anthropiques sur la zone littorale.

Dans les sites sources, l'interaction entre les contraintes naturelles et les contraintes anthropiques minimisent à l'inverse l'impact des dynamiques littorales qui favorisent, en théorie, la mise en place de processus érosifs.

Ces différentes formes d'interaction entre les contraintes naturelles et les contraintes anthropiques peuvent être mises en relation avec les effets des politiques d'aménagement et des actions entreprises pour gérer la fréquentation des massifs dunaires et le développement de l'urbanisation dans les zones côtières. En ce qui concerne les sites puits et les sites de transports, l'accumulation des sédiments dans la zone côtière encourage le développement des dunes bordières et les pressions exercées par les contraintes naturelles sont insuffisantes pour perturber ce mécanisme sur le long ou moyen terme. L'implémentation des chemins côtiers et l'artificialisation des espaces littoraux s'accompagnent également de la mise en place de mesures de protection des massifs dunaires à l'aide, par exemple, de ganivelles ou d'enrochements. Ces installations favorisent, sur le moyen terme, le développement et la protection des dunes embryonnaires (*French, 2001*) qui favorisent à leur tour les processus d'accumulation en haut de plage (Photo II.5) et la stabilisation ou la progradation du front dunaire lorsque les sites sont bien alimentés en sédiments (*Ruz et Anthony, 2008*).



Photo II.5 : Accumulation de sables derrière des ganivelles au sein du massif dunaire (Février 2008)

Dans les sites sources, les mesures de protection mises en place pour protéger le front dunaire et limiter l'érosion de la plage permettent localement le développement de formes d'accumulation sédimentaire telles que des dunes embryonnaires. Sur les photographies aériennes, la mise en place de ces formes d'accumulation, permises par les contraintes anthropiques, se marque par une avancée ponctuelle et locale du trait de côte au sein des sites sources. Le long du linéaire côtier étudié, la présence de ces ganivelles est fréquente. La visualisation des clichés aériens pris à différentes dates permet de mettre en évidence que les ganivelles sont souvent installées à proximité des chemins.

Pour exemple, l'opération Grand Site Dunaire mise en place depuis 1997 par le Syndicat Mixte Grand Site Dunaire regroupant les élus des communes sur lesquelles est établi le massif dunaire Gâvres – Penthievre, a fortement encouragé la mise en place de mesures de protection afin de minimiser les impacts de la fréquentation des dunes. La présence d'enrochement est surtout importante sur les plages de la presqu'île de Rhuys (Chapitre 1), mais leur efficacité en termes de protection est plus discutée.

### Synthèse

La combinaison des contraintes naturelles et des contraintes anthropiques associées aux mouvements du trait de côte contribue à impulser une dynamique complexe aux évolutions géomorphologiques des cinq systèmes côtiers étudiés. Selon les pas de temps et les secteurs, plusieurs types d'interactions contraintes naturelles/contraintes anthropiques sont observés, qui favorisent soit le recul du trait de côte, soit sa protection, son maintien ou sa progradation. A des échelles très locales, l'impact des contraintes anthropiques mises en place peut contribuer à impulser aux formes littorales des évolutions entrant en contradiction avec les mouvements impulsés par les contraintes naturelles. Ce dernier point interroge le rôle de l'élément anthropique dans le fonctionnement des systèmes côtiers et le façonnement des paysages côtiers. Combiné à l'action des dynamiques littorales et subaériennes contrôlant l'évolution du littoral, l'élément anthropique révèle, à partir de ces exemples, plusieurs facettes oscillant entre deux pôles : d'un côté, il peut s'apparenter à un élément introduisant des modifications dans le fonctionnement géomorphologique des systèmes côtiers favorisant le recul du trait de côte. De l'autre côté, il peut également favoriser le maintien et le développement des formes littorales. Ces observations soulèvent d'autres interrogations concernant l'analyse du risque d'érosion côtière.

## III. ANALYSE DU RISQUE D'EROSION COTIERE ET DE LA VULNERABILITE DU LITTORAL MORBIHANNAIS FACE AU RECU DU TRAIT DE COTE

L'évolution du trait de côte, en Bretagne Sud, apparaît dépendante d'un certain nombre de contraintes, entretenant entre elles de nombreuses interactions, favorisant la mise en place de différentes dynamiques expliquant la répartition des sites en érosion et en accrétion, à différentes échelles. L'évolution des systèmes côtiers étudiés est ainsi empreinte de complexité. L'objectif de cette troisième partie est de discuter des incidences de cette complexité sur la définition du risque d'érosion côtière d'une part, et sur les types de vulnérabilité associés au recul du trait de côte, d'autre part.

### III.1. Les différents types de risques associés au recul du trait de côte

L'analyse des risques permet de différencier deux types de risque en fonction de la nature des éléments menacés par les aléas : les risques sociétaux et les risques écosystémiques côtiers (Robin, 2002).

Appliquée au risque d'érosion côtière, la notion de risque sociétal permet d'appréhender le risque de destruction des installations implantées par la société ou le risque de perturbation des usages associés à l'aménagement de la zone côtière pouvant être impliqués par les mouvements de recul du trait de côte. L'ensemble des cartes discutées au chapitre 5, mettant en relation la distribution des secteurs érodés sur les long et moyen termes avec la concentration des surfaces artificialisées, permet d'individualiser des secteurs *a priori* exposés à un risque sociétal non négligeable. Il s'agit des secteurs combinant une forte concentration de sites enregistrant des reculs importants du trait de côte et une forte concentration de surfaces artificialisées et bâties. Dans ces secteurs, le recul du trait de côte observé sur les long et moyen termes, s'il se perpétue dans le temps, est susceptible d'endommager les installations anthropiques mises en place sur la frange littorale.

Lorsque le recul du trait de côte sur le long et moyen termes participe du fonctionnement des systèmes côtiers, le risque induit par l'occurrence des processus érosifs tient essentiellement à la forte concentration des installations anthropiques sur la frange littorale et s'apparente ainsi à un risque sociétal (Photo II.6). Ce type de risque concerne, au sein du massif dunaire, les falaises de la pointe de Gâvres et le Nord de la plage où, sur l'ensemble des pas de temps étudiés, les variations du trait de côte témoignent d'un recul du front dunaire, situé dans des sites sources. Au sein de la baie de Quiberon, ce type de risque concerne les falaises bordant les rias du Cra'ch et de Saint Philibert, assimilées à des sites sources. Sur la Presqu'île de Rhuys, ce type de risque concerne, par exemple, la plage de Penvins ou la pointe de Saint Jacques.

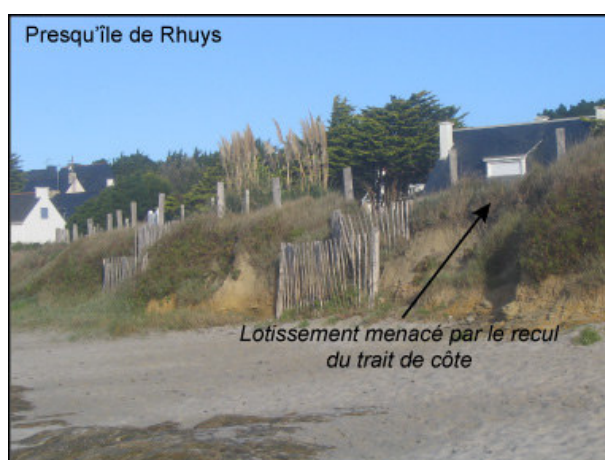


Photo II.6 : Lotissements menacés par le recul du trait de côte en Presqu'île de Rhuys (Avril 2007)

Lorsque les contraintes anthropiques installées sur la frange littorale et menacées par le recul du trait de côte, contribuent aussi, par leur présence, à accentuer le recul du trait de côte, l'analyse des risques devient plus complexe et nécessite de faire appel à la notion de risque écosystémique. La complexité des interactions entre contraintes naturelles et contraintes anthropiques, discutée précédemment, interagit alors avec la définition du risque d'érosion côtière en Bretagne Sud.

Le risque écosystémique renvoie aux dommages que pourrait causer l'occurrence des processus érosifs aux formes littorales elles-mêmes. L'identification de ce type de risque implique une analyse des processus qui permettent le développement de ces formes, afin de déterminer dans quelle mesure les processus érosifs qui contraignent son maintien ou son développement participent ou ne participent pas au fonctionnement hydro-sédimentaire du système côtier. Lorsque l'érosion du trait de côte est accélérée par la présence, sur la côte, d'infrastructures anthropiques, ces dernières contribuent, d'une part à définir le risque puisque la possibilité de leur détérioration sur les long et moyen termes est intégrée à l'analyse du risque d'érosion côtière. D'autre part, elles contribuent également à modifier les dynamiques littorales en accélérant les rythmes d'érosion. Dans ce contexte, les installations anthropiques – chemins, surfaces bâties ... - ne sont plus seulement des éléments susceptibles d'être endommagés, mais elles contribuent également à l'occurrence de l'aléa définissant le risque auquel elles sont exposées.

Par ailleurs, l'analyse des interactions entre contraintes anthropiques et contraintes naturelles a mis en évidence l'existence de secteurs au sein desquels les fortes concentrations de surfaces artificialisées et de chemins côtiers favorisent l'occurrence de formes locales d'abrasion. Dans ces secteurs, le risque concerne autant les installations anthropiques que les formes littorales elles-mêmes. Ces secteurs correspondent aux surfaces érodées situées dans des dunes localisées au sein des sites puits, alimentés par les courants de dérive littorale. Ils sont nombreux au Sud du massif dunaire Gâvres – Penthievre (Pian *et al.*, 2008). Dans la baie de Quiberon, les plages de Carnac sont concernées par ce type de risque. Sur la Presqu'île de Rhuys, le front dunaire de la plage de Suscinio, situé dans un site puits, est marqué par des brèches d'origine anthropique induisant un recul local du trait de côte.

Selon la densité des surfaces artificialisées et leur proximité par rapport à la position actuelle du trait de côte, le risque d'érosion côtière est plus ou moins important et concerne davantage les infrastructures anthropiques installées sur la côte ou les formes littorales elles-mêmes. A Carnac, la dune végétalisée est entièrement nivelée et urbanisée : une route, des hôtels et des habitations sont installés juste derrière le front de mer (Chapitre 1). Sur un tel site, le recul des formations dunaires s'apparente à une perturbation du fonctionnement du système côtier et le risque concerne les formes littorales. Toutefois, le recul du trait de côte est susceptible de menacer l'ensemble des infrastructures établies sur la côte et par conséquent le risque sociétal demeure également important.

Dans le Sud du massif dunaire et dans l'anse de Suscinio, l'urbanisation n'est pas développée à proximité de la ligne de rivage (Chapitre 1). Les contraintes anthropiques qui interagissent avec les dynamiques littorales correspondent globalement à des chemins côtiers, souvent délimités par des ganivelles, ou à des parking établis en arrière du massif dunaire (Chapitre 1). Le risque sociétal induit par le recul du trait de côte apparaît moins important dans ce type de secteur. L'occurrence des processus érosifs menace davantage les formes littorales en elles-mêmes et le risque d'érosion côtière concerne principalement les formes dunaires. Toutefois, contrairement au risque sociétal, ce type de risque reste plus ponctuel et est caractérisé par une emprise spatiale de faible extension.

A travers ces différents exemples, l'exposition des littoraux Sud Bretons au risque de recul du trait de côte apparaît complexe. Elle concerne principalement les installations anthropiques établies sur la côte et dans une moindre mesure les formes littorales elles-mêmes. Dans certains secteurs, l'imbrication des impacts des contraintes anthropiques dans le fonctionnement des systèmes côtiers favorise la mise en place ou l'accélération de processus érosifs. Dans ces secteurs, le risque d'érosion côtière concerne à la fois les structures anthropiques, les formes littorales et les usages développés sur la zone côtière. L'élément anthropique interfère ainsi à double titre dans la définition des risques : la localisation des surfaces artificialisées vouées à l'utilisation par la société de la zone côtière contribue à définir l'étendue spatiale des zones endommageables ou vulnérables d'une part, alors que la distribution spatiale de ces contraintes interfère avec les processus érosifs et participe ainsi à l'occurrence de l'aléa générant le risque. L'ensemble des interactions entre contraintes naturelles et contraintes anthropiques contribue à inscrire l'élément anthropique dans la dialectique aléa – vulnérabilité. Il s'apparente alors à un facteur de risque pour la zone côtière, soit parce qu'il contribue à générer un processus de recul du trait de côte, soit parce qu'il implique la localisation sur la frange côtière d'éléments vulnérables.

### **III.2. Clés de lecture pour l'analyse de la vulnérabilité du littoral morbihannais face au recul du trait de côte**

De manière très générale, le concept de vulnérabilité permet d'appréhender le degré d'exposition à un risque. Il englobe également les stratégies d'adaptation et de gestion développées par la société pour réduire les risques ainsi que la capacité des systèmes littoraux à encaisser les changements morphologiques induits par l'occurrence de l'aléa (*Klein, et al., 2003, Dauphiné, 2004*). En effet, la vulnérabilité des systèmes territoriaux côtiers face au risque d'érosion dépend des capacités du système social et du système géomorphologique côtier à s'adapter aux modifications environnementales. Cette capacité peut être appréhendée à travers le concept de résilience abordé dans la discussion suivante. Cette section est organisée en deux points : dans un premier temps, l'effet de l'artificialisation de l'espace littoral sur sa résilience est abordé.

Dans un second temps, une typologie des formes de vulnérabilité du littoral morbihannais prenant en compte la complexité des comportements géomorphologiques des systèmes côtiers est proposée.

### III.2.1. Résilience et artificialisation de l'espace littoral

La notion de résilience fait référence à plusieurs types de phénomènes. Carpenter et *al.*, 2001, en distinguent au moins trois :

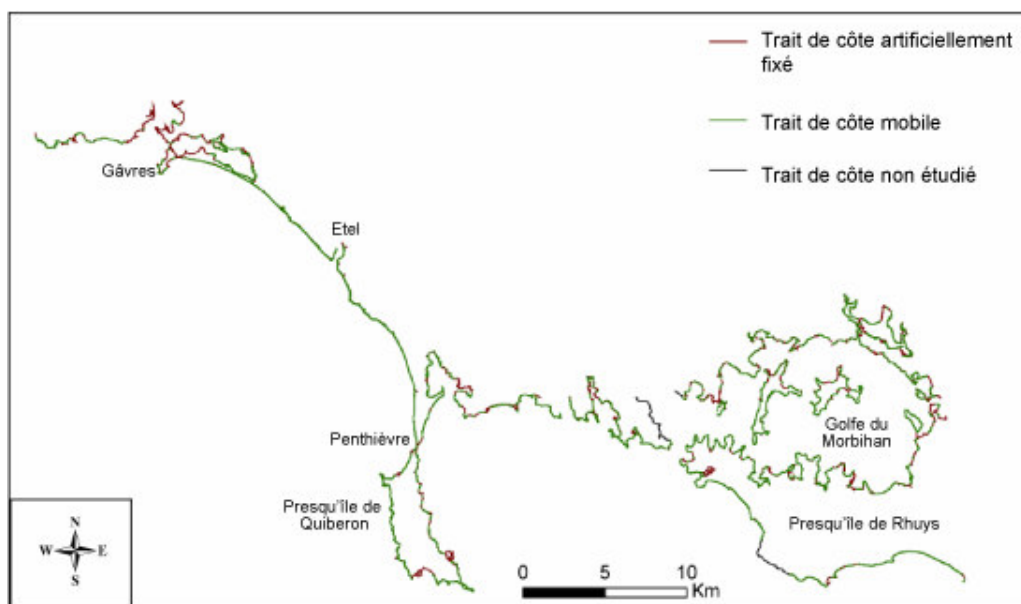
- La quantité de dommages qu'un système peut absorber en restant tout de même dans le même état, ou tout du moins en restant toujours attractif,
- Le degré d'auto-organisation qui peut caractériser ce système (*Orford et al.*, 2002, *Long*, 2006),
- La capacité du système à construire et augmenter ses possibilités d'adaptation, d'un point de vue social (*Klein et al.*, 2003, *Dauphiné*, 2004, *French*, 2006).

Dans cette perspective, un certain nombre d'études récentes a cherché à analyser la vulnérabilité des littoraux face au risque d'érosion et/ou de submersion à travers une quantification de leur résilience (*Williams et al.*, 2001, *French*, 2006, *Long et al.*, 2006, *Suarez*, 2007). Long et al. (2006) ont mis en évidence quatre facteurs principaux, contrôlant la résilience des cordons sableux, dans un contexte d'élévation régionale du niveau des mers :

- L'importance de la réserve sédimentaire,
- Le rythme d'élévation régionale du niveau des mers,
- L'occurrence des interactions entre la frange littorale mobile et l'arrière zone littorale,
- Les pratiques en terme d'aménagement du littoral

Les deux derniers facteurs renvoient directement à la notion d'espace disponible (*Orford et al.*, 2002), *accommodation space*, ou d'espace d'accueil (*Regnauld et al.*, 2010) : la résilience des formes littorales est dépendante de l'espace disponible dont dispose le système littoral pour évoluer et s'adapter. A cet égard, la forte anthropisation des systèmes côtiers en Bretagne Sud contribue à réduire leur résilience, en limitant l'espace disponible et les possibilités de migrations des formes littorales. Autrement dit, pour des sites caractérisés par un même degré d'exposition au risque du recul du trait de côte, même lorsque celui-ci est faible, la vulnérabilité est plus forte lorsque le trait de côte est artificiellement stabilisé.

Les espaces entièrement stabilisés et artificialisés le long du linéaire côtier étudié sont indiqués en traits rouges sur la carte II.51. Ils correspondent à des espaces au sein desquels la résilience des formes littorales est amoindrie par une stabilisation artificielle de la position du trait de côte, contraignant la mobilité des formes littorales (Photo II.7).



*Carte II.50 Portion du linéaire côtier artificiellement stabilisée*



*Photo II.7 : Forte artificialisation du littoral à Gâvres (Décembre 2007)*

### III.2.2. Typologie et cartographie de trois différentes formes de vulnérabilité en Bretagne Sud

En synthétisant l'ensemble des réflexions discutées au sein de ce chapitre, une typologie des formes de vulnérabilité actuelles caractérisant les systèmes côtiers Sud bretons a été proposée. Cette typologie ne s'intéresse pas au degré d'exposition des littoraux au risque d'érosion côtière, ce qui nécessiterait de projeter dans le temps les données concernant le recul du trait de côte (Chapitre 5), tout en prenant en compte les effets d'une élévation régionale du niveau des mers. Cette typologie s'intéresse davantage aux formes de vulnérabilité découlant du fonctionnement géomorphologique de chaque système côtier et des interactions entre les contraintes naturelles et anthropiques qui contrôlent ce fonctionnement.



La typologie mise en place s'apparente ainsi à une grille d'analyse pour comprendre les différents processus qui génèrent de la vulnérabilité, en Bretagne Sud, face au risque d'érosion côtière. L'utilité d'une telle grille repose sur le postulat que ces différentes formes de vulnérabilité nécessitent des réponses différentes, en terme d'aménagement, dans la mesure où elles résultent de l'occurrence de différents processus sociétaux et géomorphologiques.

Trois formes de vulnérabilité possibles ont été identifiées en Bretagne Sud :

- Les formes de vulnérabilité associées à une artificialisation du trait de côte et à une restriction des espaces disponibles,
- Les formes de vulnérabilité associées aux conséquences des interactions *contraintes anthropiques/contraintes naturelles* qui contribuent à modifier le fonctionnement des systèmes géomorphologiques côtiers, à accroître ou à générer des processus érosifs et engendrent par là-même une augmentation du risque en modifiant l'aléa naturel,
- Les formes de vulnérabilité affectant les usages et infrastructures développés sur la frange littorale dans un contexte où le recul du trait de côte participe de l'évolution géomorphologique, non perturbée, du système côtier.

La répartition spatiale de ces formes de vulnérabilité a ensuite été analysée à partir de la carte II.51 Cette carte a été élaborée à partir de :

- Des données discutées au sein du chapitre 5, concernant la distribution spatiale des sites en érosion, des sites en accrétion et des contraintes naturelles et anthropiques qui leur sont associées,
- Des données concernant l'artificialisation du trait de côte, présentées précédemment,

La première forme de vulnérabilité a été associée aux espaces littoraux marqués par une artificialisation du trait de côte. Au sein de ces espaces, la vulnérabilité du littoral est liée à deux aspects : l'artificialisation induit une diminution de la résilience des formes littorales et de leur mobilité, réduisant ainsi les possibilités de réponses du littoral face au changement du niveau marin. Par ailleurs, l'artificialisation implique la présence d'éléments anthropiques, sur l'arrière côte, susceptibles d'être endommagés.

La seconde forme de vulnérabilité a été attribuée aux espaces au sein desquels les résultats des analyses statistiques et spatiales ont montré que l'érosion du trait de côte est fortement associée à des contraintes naturelles et anthropiques. Les secteurs concernés par cette forme de vulnérabilité ont été identifiés en croisant les mailles représentant les différentes concentrations des pressions anthropiques (augmentation des infrastructures dans une bande de 100 m et augmentation du nombre de chemins côtiers) avec les sites en érosion.

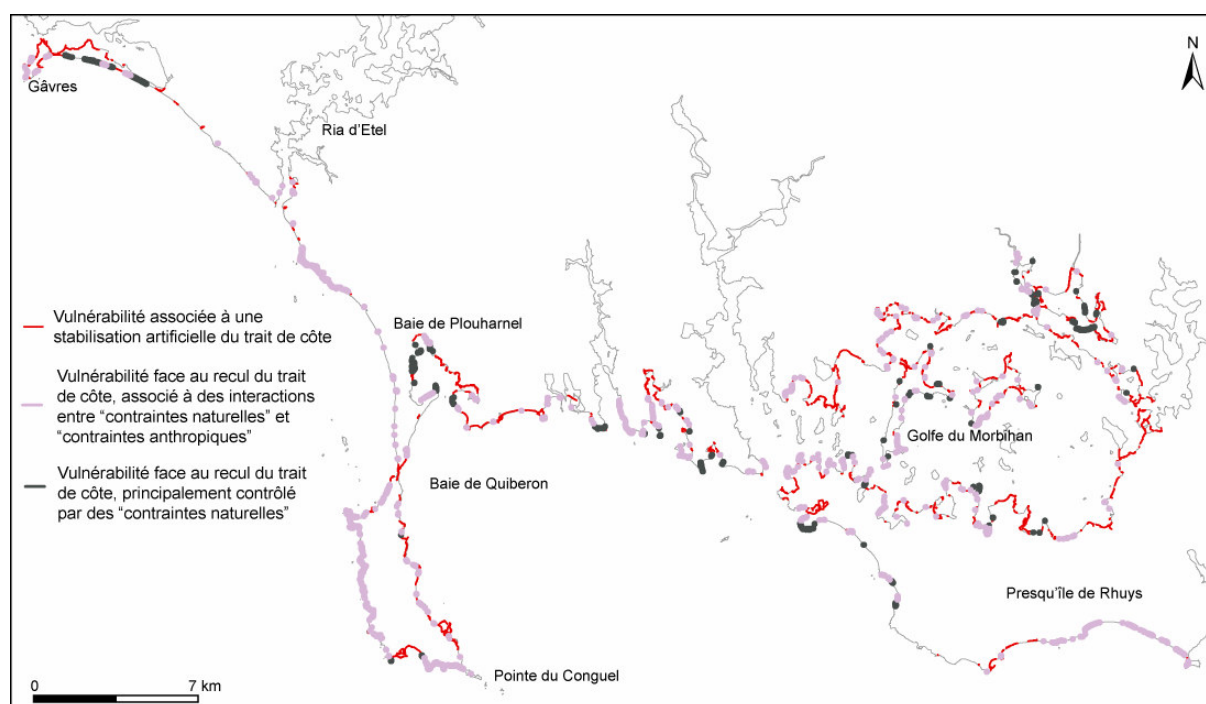
Ces sites sont marqués par des modes de comportements géomorphologiques complexes associés à différentes échelles spatiales (Chapitre 5). La complexité de l'évolution du trait de côte résulte en partie des différents types d'interactions entre contraintes anthropiques et contraintes naturelles (II). Sur ces sites, l'élément anthropique intervient à la fois comme facteur de risque et comme facteur de vulnérabilité.

Enfin, les espaces littoraux où le recul du trait de côte est dominé par des contraintes naturelles ont été assimilés à la troisième forme de vulnérabilité. Ce type de vulnérabilité a été identifié en croisant les mailles représentant les espaces littoraux dépourvus de pression anthropique avec les secteurs en érosion.

La carte obtenue représente la répartition spatiale des formes de vulnérabilité associées aux mouvements de recul du trait de côte entre 1952 et 2004. Les formes de vulnérabilité dominantes sont celles où le comportement géomorphologique du littoral résulte de contraintes naturelles et anthropiques. Au Nord du massif dunaire, dans la baie de Quiberon et dans le Golfe du Morbihan, les formes de vulnérabilité associées à une stabilisation artificielle du trait de côte sont surreprésentées.

Au Sud du massif dunaire, au niveau des falaises rocheuses de la Presqu'île de Quiberon et des plages de la Presqu'île de Rhuys, les formes de vulnérabilité associées aux conséquences des interactions *nature-société* qui contribuent à modifier le fonctionnement des systèmes géomorphologiques côtiers sont surreprésentées.

Dans ces secteurs, l'évaluation des degrés de vulnérabilité associés au risque de recul du trait de côte est ainsi confrontée à des analyses complexes, concernant des interactions entre les composantes anthropiques et naturelles qui contrôlent l'évolution du trait de côte.



*Carte II.51: Cartographie des formes de vulnérabilité des systèmes côtiers Sud bretons face au recul du trait de côte - (A partir des données 1952 - 2004)*

### Synthèse générale du chapitre 6:

L'ensemble des contraintes anthropiques analysées dans le cadre de ces travaux joue un rôle complexe dans la définition des risques associés au recul du trait de côte. Ils interviennent simultanément dans la définition de l'aléa et dans la définition de la vulnérabilité associée à ce risque. Situé à proximité du trait de côte, l'ensemble des surfaces artificialisées contribue à définir le risque en délimitant les périmètres au sein desquels des éléments sociétaux peuvent être endommagés. Elles déterminent les conditions mêmes pour que le risque sociétal existe. La distribution spatiale de ces contraintes anthropiques et les effets de concentration sur la côte contribuent également à définir un autre type de risque, affectant les formes littorales. En accélérant ou favorisant les processus érosifs, la concentration des pressions anthropiques contribue à définir l'aléa susceptible de provoquer des endommagements. En outre, l'impact des interactions entre contraintes anthropiques et contraintes naturelles dans le fonctionnement géomorphologique des systèmes côtiers contribue à définir différents degrés de résilience et affecte la vulnérabilité des systèmes côtiers face au risque d'érosion côtière qu'elles contribuent à définir par ailleurs.

## Conclusion de la partie II

L'ensemble des informations discutées au sein de cette partie a permis de tracer les principaux traits du fonctionnement géomorphologique des cinq systèmes côtiers Sud bretons analysés dans le cadre de ces travaux.

Le fonctionnement géomorphologique des systèmes côtiers a été analysé à partir d'une analyse multifactorielle, sur plusieurs pas de temps, des variations du trait de côte. L'utilisation de photographies aériennes a permis de détecter la position du trait de côte à plusieurs dates, directement à l'échelle des systèmes côtiers. Les facteurs susceptibles de contrôler les mouvements du trait de côte ont été caractérisés, spatialisés et intégrés dans une base de donnée. A partir des différentes couches d'information contenues dans la base de données, plusieurs types d'analyses spatiales et d'analyses statistiques ont été réalisés afin de mettre en relation les variations du trait de côte avec les caractéristiques ou la nature des facteurs étudiés. Les résultats obtenus ont permis de souligner les différences et les similitudes marquant le fonctionnement des systèmes côtiers. Les trois systèmes dunes-plages se distinguent par des modes de fonctionnement géomorphologique distincts : le massif dunaire Gâvres – Penthievre s'apparente à une vaste cellule sédimentaire divisée en sous-cellules entre lesquelles les sédiments peuvent circuler par *by passing* ; la baie de Quiberon est davantage cloisonnée en petites cellules sédimentaires et la Presqu'île de Rhuys s'apparente à une vaste zone de transit où la présence de platiers rocheux en bas de plage et de zones de roches dans les petits fonds complique les processus de transports sédimentaires. Au sein de la Presqu'île de Quiberon et du Golfe du Morbihan, les différentes vitesses de recul sont associées à différents types de falaises. En Presqu'île de Quiberon, le type de roche, l'exposition de la falaise et l'absence de couverture végétale sur son sommet contribuent à contrôler les différentes ampleurs de recul. Dans le Golfe du Morbihan, la hauteur des falaises combinée à l'épaisseur de l'horizon d'altération et au type de couverture végétale permettent d'expliquer les différentes vitesses de recul.

Parallèlement à toutes ces différences, les évolutions géomorphologiques des cinq systèmes côtiers étudiés sont marquées par l'importance des interactions entre dynamiques littorales, subaériennes et anthropiques, qui influencent, au moins localement, l'évolution des formes littorales. Cette influence des contraintes anthropiques est moins importante dans le Golfe du Morbihan. Une forte concentration de pressions anthropiques est souvent associée à un mouvement de recul du trait de côte. Toutefois, cette relation n'est pas systématique. La prise en compte des interactions entre dynamiques naturelles et sociétales dans l'analyse du risque d'érosion côtière a permis de distinguer l'existence de deux types de risques en Bretagne Sud, l'un affectant les éléments sociétaux, l'autre, les formes littorales. Par ailleurs, la complexité du fonctionnement géomorphologique introduit par ces interactions a permis de reconnaître et cartographier trois formes distinctes de vulnérabilité.

## **PARTIE III : ANALYSE DU COMPORTEMENT MORPHOLOGIQUE ET MORPHODYNAMIQUE DES PLAGES SUR LE COURT TERME (ECHELLE ANNUELLE)**

Cette partie s'intéresse aux évolutions morphodynamiques des plages du massif dunaire Gâvres-Penthièvre, de la baie de Quiberon et de la presqu'île de Rhuys. Sur la presqu'île de Rhuys, les plages de l'anse de Suscinio font l'objet d'une analyse plus détaillée.

Les objectifs développés au sein de cette partie sont doubles et s'articulent autour de deux axes principaux. Premièrement, les données discutées permettent de définir le cadre morphodynamique des plages et de compléter les descriptions morphologiques des systèmes dunes-plages établies au chapitre 3 (Partie I). Deuxièmement, les analyses entreprises cherchent à caractériser les dynamiques littorales qui régulent le comportement des plages sur le court terme, en mettant en évidence les mouvements sédimentaires associés aux évolutions topographiques et morphodynamiques observées sur les plages entre Février 2008 et Juin 2009. Ces observations sont également confrontées à des analyses plus ponctuelles de la couverture sédimentaire de ces plages.

D'une manière générale, ces analyses ont été réalisées à partir de données recueillies sur le terrain entre Février 2008 et Juin 2009. La répartition spatiale des sites analysés et la fréquence des relevés effectués sont dépendantes des contraintes inhérentes à la longueur de la zone d'étude. En effet, les trois systèmes dunes-plages s'étendent sur plus de 148 km de linéaire côtier. Au total, 25 plages ont été visitées de manière régulière afin de lever des profils. La localisation des profils de plage a été déterminée en fonction de la morphologie des systèmes littoraux afin de pouvoir extrapoler les données obtenues à des étendues homogènes. Les données topographiques ont été confrontées aux données hydrodynamiques disponibles de manière à analyser la réponse morphologique des plages aux variations des forçages météo-marins. Puis, l'ensemble de ces données a été intégré à une analyse du comportement morphodynamique des plages. Enfin, une analyse de la couverture sédimentaire a été entreprise de manière plus ponctuelle pour compléter la description des sites.

## CHAPITRE 7 : ACQUISITION ET TRAITEMENTS DES DONNEES TERRAIN

Le chapitre 7 a pour objectif de décrire la méthode employée pour d'une part, analyser les évolutions topographiques et morphodynamiques des plages étudiées et d'autre part décrire la couverture sédimentaire. Il est organisé en trois parties présentant successivement les méthodes utilisées pour acquérir et traiter les données topographiques, morphodynamiques et sédimentaires.

### I. MESURE DES VARIATIONS TOPOGRAPHIQUES DES PLAGES

L'analyse des variations topographiques des plages a été effectuée à partir de profils levés entre Février 2008 et Juin 2009. Les variations des profils ont été mesurées de manière semi quantitative, en évaluant l'ampleur verticale des mouvements observés, puis comparées aux variations des contraintes météo-marines sur le même pas de temps afin de caractériser les évolutions morphologiques des plages étudiées.

#### I.1. Levée des profils de plage

Les profils de plage ont été levés sur 25 plages, le long du littoral Sud Breton. La fréquence des relevés varie d'un système littoral à l'autre (Tableau III.1). D'une manière générale, les relevés ont été effectués entre Février 2008 et Juin 2009.

	<b>Nombre de plages concernées par le suivi topographique</b>	<b>Nombre de relevés effectués par plage</b>
Massif dunaire	7	6 à 3
Baie de Quiberon	9	4
Presqu'île de Rhuys	8	4

*Tableau III.1. : Fréquence des relevés topographiques effectués sur les plages du Massif dunaire, de la baie de Quiberon et de la presqu'île de Rhuys*

En Février 2008, les profils ont été levés à l'aide d'un D.G.P.S. Trimble, puis à partir de Mars 2008 à l'aide d'un théodolite Laser Trimble. Ce changement d'outil est intervenu à la suite de problèmes techniques, rendant inutilisable le D.G.P.S.

Les profils de plage ont été levés à marée basse, le long de transects perpendiculaires à la plage, à partir du pied de dune et jusqu'à la limite des eaux de mer. Pour la plupart des profils, cette limite est située entre le niveau des marées basses de mortes et vives eaux, en fonction de l'heure à laquelle ont été levés les profils.

En effet, les journées terrain ont été effectuées avec des coefficients de marée compris entre 56 et 104 (Annexe H), et en raison de la grande extension spatiale des sites d'étude, environ 5 à 6 profils ont été levés au cours d'une même journée terrain. Il en résulte que les profils n'ont pu être tous levés jusqu'à la limite atteinte par les marées basses de vives eaux.

Les profils ont été levés en suivant un protocole bien défini, répété lors de chaque campagne terrain. La base du D.G.P.S. et le théodolite ont été installés sur des surfaces fixes dont la position a été géoréférencée avec un G.P.S. Trimble et marquée à l'aide de repères visuels. Pour chaque profil, un point de référence a été identifié, pour lequel la position en x,y,z en mètre IGN 69 est connue. Les profils levés sur chaque plage ont été calés par rapport à ce point de référence. Ce point de référence servant de point de calage, les profils ont ensuite été tracés à partir du premier point pris au bas du pied de dune. Le zéro hydrographique référencé par le SHOM a été reporté sur chaque profil de manière à vérifier la cohérence du calage. Des repères visuels ont été utilisés, sur les plages et la dune, de manière à faciliter la réalisation du profil.

Le D.G.P.S. a été mis en station à partir des critères suivants : à chaque fois, les mesures ont été effectuées avec un minimum de 5 satellites, pour un angle inférieur à 15°. Le référentiel altimétrique utilisé par le D.G.P.S est le référentiel IGN 69. La mise en station du théodolite Laser a été effectuée à l'aide des coordonnées x,y,z obtenues à partir des données D.G.P.S. en mètre IGN 69.



*Photo III.1 : Mise en station du théodolite Laser*

Les marges d'erreur associées à l'utilisation du D.G.P.S permettent d'obtenir une erreur maximale en z inférieure à 10 cm : tous les points supérieurs à cette valeur d'erreur sont supprimés de l'analyse. Les marges d'erreur associées à l'utilisation du théodolite permettent d'obtenir une précision en z de +/- 2 cm.

## I.2. Analyse des variations des profils

Sur les plages macro à méso tidales, le profil de plage est divisé en plusieurs sections en fonction de l'impact des niveaux de marée sur les processus hydrodynamiques contrôlant son évolution (Levoy, 2001 ; Stepanian et Levoy, 2003). A partir de la classification adoptée par ces auteurs, trois sections peuvent être mises en évidence :

- la haute plage, située entre le niveau atteint par les pleines mers de vives et de mortes eaux
- la moyenne plage, située entre le niveau des pleines mers de mortes eaux et des basses mers de mortes eaux
- la basse plage, située entre le niveau atteint par les basses mers de vives et de mortes eaux

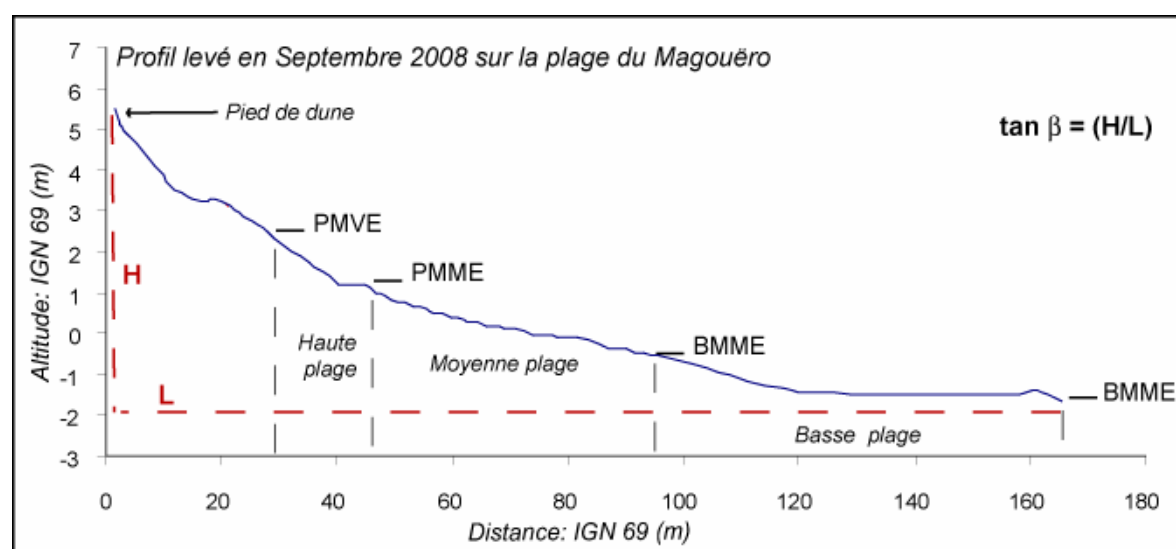


Figure III.1 : Schéma théorique d'un profil de plage et identification des différentes zones en fonction de l'influence de la marée

Pour chaque profil levé entre Février 2008 et Juin 2009, la pente des plages est la tangente de l'angle  $\beta$ , exprimé en degré tel que :

$$\text{Formule (5)} \quad \tan \beta = (H/L)$$

La longueur (L) a été calculée à partir du pied de dune jusqu'au bas du profil, situé généralement entre le niveau atteint par les marées basses de vives et mortes eaux (Figure III.1). De manière à caractériser la topographie des plages lors de chaque levée une valeur de pente a été calculée à partir de chaque profil. Puis, pour présenter le type de pente caractérisant chaque plage sur la période étudiée, une valeur moyenne a ensuite été calculée à partir des différents profils.



Lorsque le profil est marqué par une rupture de pente importante, située au-dessus du niveau moyen des mers, deux valeurs de pente ont été calculées, à partir du haut de plage, jusqu'à la rupture de pente, puis de la rupture de pente jusqu'au bas du profil levé. Les variations des profils de plage ont ensuite été analysées de manière semi-quantitative en évaluant l'ampleur verticale des mouvements observés entre deux dates (*Stépanian et Levoy, 2003*).

En raison de l'absence d'instruments permettant de réaliser ces mesures, aucune donnée météorologique ou courantologique n'a pu être acquise *in situ*. Dans ce contexte, pour caractériser les conditions d'agitation prévalant entre deux levées topographiques, des données concernant les caractéristiques des houles et du vent au large ont été utilisées (*Dail et al., 2000 ; Masselink et Pattiaratchi, 2001 ; Hill et al., 2004, Basterretxea et al., 2007*), telles que la hauteur significative ( $H_s$ ) des vagues, la période significative ( $T_s$ ) des vagues et, la direction et la vitesse du vent (*Anfuso et al., 2003 ; Frihy et al., 2008, Sedrati et Anthony, 2008*). Ces données sont utilisées à titre indicatif afin d'évaluer le type de conditions d'agitation (agitée, modale, peu agitée ...) prévalant entre deux levées. Des informations qualitatives sur la hauteur des houles ou le type de déferlement ont été observées sur la plage lors des mesures. Toutefois, ne disposant pas d'information *in situ* sur ce type de données prévalant durant tout le cycle de marée où est modelé le profil levé, ces observations n'ont pas été utilisées dans les analyses développées au sein de cette partie.

Les données de houle proviennent des données de bouées de la base de données CANDHIS gérée par le CETMEF (Chapitre 1 – Carte i.1). Deux bouées, situées au large de la zone d'étude, ont été utilisées pour l'analyse : la bouée 8503 située au Nord de l'île d'Yeu et la bouée 04403 située sur le plateau du Four (Chapitre 1). Les données de vent proviennent de METEO France et ont été mesurées au sémaphore du Talut, à Belle-Ile (Chapitre 1 – Carte i.1).

Les variations temporelles des variables  $H_s$ ,  $T_s$ , vitesse et direction du vent sont représentées sur les graphiques (III.1 – III.2 – III.3) sur lesquels les dates de levées des profils de plage ont été indiquées, permettant ainsi de définir différentes Périodes de Suivi Morphologique (PSM) et de caractériser les conditions hydrodynamiques prévalant pour chacune d'elles (*Frihy et al., 2008*). A partir de ces graphiques, les variations temporelles des données de houle et de vent entre deux levées ont été utilisées pour interpréter les changements morphologiques observés au sein de chaque PSM.

Parallèlement, l'analyse des profils de plage a permis d'identifier la présence des formes d'accumulation sédimentaire secondaires sur les estrans et d'évaluer leur migration. Sur les plages de Bretagne Sud, les principales formes remarquées et évoquées lors de l'analyse des profils de plage sont:

Les bermes: Ce sont des formes d'accumulation sédimentaire qui résultent de l'action des vagues en haut de plage (*Short, 1999*). Elles forment un bourrelet parallèle au trait de côte, marquant la transition entre les espaces où les évolutions morphologiques du profil de plage sont respectivement dominées par les processus hydrodynamiques et éoliens.

Les croissants de plage: Ce sont des formes d'accumulation sédimentaire plus ou moins régulières, caractérisées par un gradient de pente assez faible, des formes en croissant composées d'une alternance de creux et de pointes, où sont déposés les matériaux plus grossiers. Ces formes sont généralement considérées comme des formes d'accumulation sédimentaire secondaires (*Masselink et Hedges, 2003*).

Les barres transverses: Ce sont des barres qui se forment perpendiculairement au rivage. Elles sont disposées à intervalles réguliers le long de la plage. Konicki et Holman (2000) ont démontré qu'elles constituent des formes d'accumulation sédimentaire secondaires, semblables aux croissants de plage. Elles peuvent se développer dans des environnements modérément à faiblement agités, dans la zone de déferlement (*Masselink et Hedges, 2003*).

## II. IDENTIFICATION DU COMPORTEMENT MORPHODYNAMIQUE DES PLAGES

Les analyses morphodynamiques s'inscrivent dans la continuité des travaux développés par Wright et Thom en 1977 et Short (1979) (in Masselink and Short, 1993) sur les plages australiennes. Ces auteurs ont développé une approche systémique pour appréhender l'évolution des plages sableuses en les considérant comme des systèmes morphologiques au sein desquels l'évolution des formes sédimentaires résulte des interactions entre les stocks sableux et les forçages météo-marins. L'analyse des comportements morphodynamiques des plages a permis d'identifier différents types d'interactions houles/stock sédimentaire régulant l'évolution du littoral, et d'associer à ces différents types d'interactions des « états de plage » (*Cohen et al., 2002*). Dans le cadre de ces travaux, plusieurs indicateurs morphodynamiques ont été calculés pour caractériser les états de plage lors de chaque période de suivi morphologique. Les variations des valeurs obtenues entre les différentes périodes de suivi morphologique ont été ensuite comparées aux variations des profils de plage afin d'affiner la description de la réponse morphologique des plages aux variations des contraintes hydrodynamiques.

## II.1. Présentation des indicateurs utilisés pour caractériser la morphodynamique des plages dans la littérature

En fonction des interactions entre morphologie des plages et contraintes hydrodynamiques, les plages sableuses sont classées suivant trois principaux domaines morphodynamiques (*Short, 1999*).

Les plages réfléchissantes : Elles sont caractérisées par des profils en pentes fortes. Lorsque les plages sont composées des sédiments fins à moyens, ce type de profil se développe dans des espaces abrités, caractérisés par des vagues d'une hauteur inférieure à 1m, (baies, estuaires, ports ...). Lorsque les plages sont composées de sédiments plus grossiers, de tels profils peuvent se développer avec des environnements plus énergétiques, caractérisés par des hauteurs de vagues plus importantes (*Short, 1999*).

Les plages dissipatives : Elles sont caractérisées par des profils en pente faible. La zone de déferlement s'étend, au minimum sur plus de 200 m, et au maximum sur plusieurs kilomètres. Ce type de profil se met en place lorsque les plages sont exposées aux houles océaniques et aux vagues de tempête (*Short, 1999*). Sur ce type de plage, d'importants transports longitudinaux peuvent se mettre en place.

Les plages intermédiaires : Elle se situent dans une position intermédiaire, entre les plages dissipatives exposées à la houle, et les plages réfléchissantes qui se développent dans des espaces plus abrités.

Sur les côtes micro-tidales australiennes, Wright et Short (1984) ont développé l'utilisation du paramètre  $\Omega$  (Gourlay, 1968) pour décrire le type de comportement des plages. Cet indicateur est basé sur les caractéristiques des vagues ( $H_s - T$ ) ainsi que sur la granulométrie des plages, représentée par la vitesse de chute des sédiments ( $w_s$ ).

$$\text{Formule (6)} \quad \Omega = H_b / w_s T$$

avec  $H_b$  la hauteur des brisants en m,  $T$  la période en seconde et  $w_s$  la vitesse de chute des sédiments

Par la suite, Masselink et Short (1993) ont développé une classification adaptée aux environnements méso à macro tidaux prenant en compte le marnage et la hauteur modale des brisants (Figure III.2). Cette classification intègre deux paramètres environnementaux adimensionnels : la vitesse de chute adimensionnelle ( $\Omega$ ) et le marnage relatif RTR (Relative tidal range), défini tel que :

$$\text{Formule (7)} \quad \text{RTR} = \text{MSR} / H_b$$

avec  $H_b$  la hauteur des brisants en m et MSR le marnage moyen de vives eaux en m.

Les travaux de Battjes (1974) ou Guza et Inman (1975) ont développé des indicateurs prenant en compte des indices morphologiques différents tels que la pente de la plage. Le paramètre de réplication de la barre ( $\zeta$ ), *surf similarity index*, a été défini par Battjes (1974) à la suite des travaux de Iribarren et Noagles (1949) tel que:

$$\text{Formule (8)} \quad \zeta = \tan \beta (H_b/L_o)^{0.5}$$

avec  $\beta$  la pente de la plage en degré,  $H_b$ , la hauteur des brisants, et  $L_o$  la longueur d'onde de la houle au large.

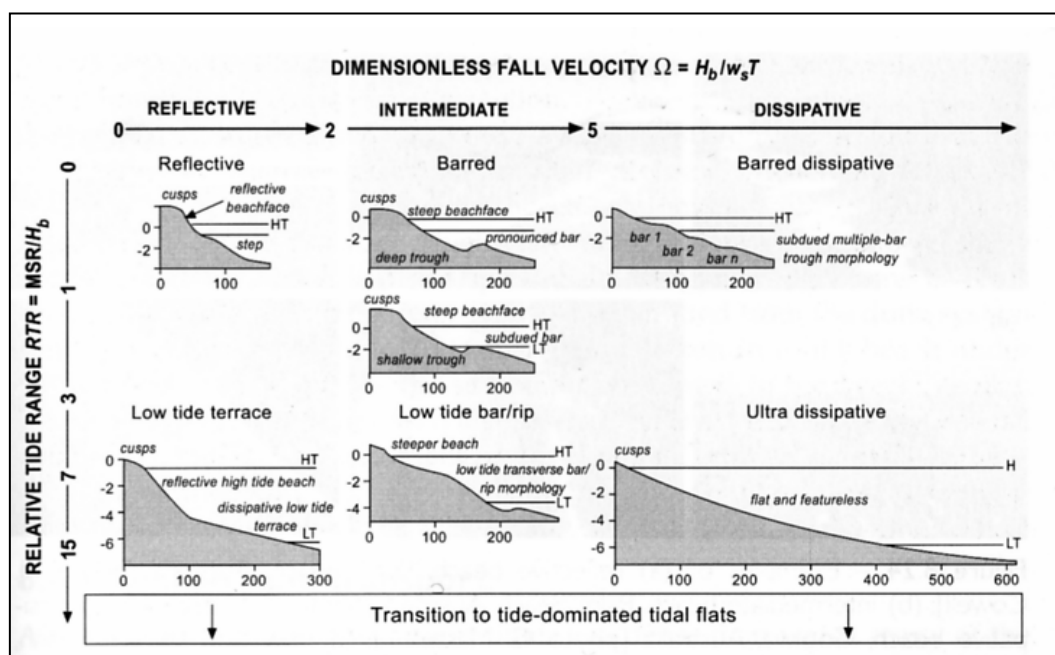


Figure III.2 : Classification morphodynamique des plages suivant la méthode établie par Masselink et Short (1993) in Masselink et Hughes (2003)

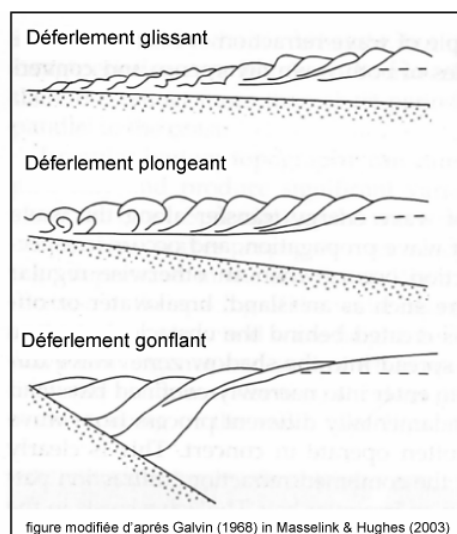


Figure III.3 : Représentation schématique des principaux types de déferlements observés sur les plages

Il permet de caractériser le fonctionnement morphodynamique des plages en établissant une relation entre la morphologie du profil et le type de déferlement prévalant sur la plage. Cet indicateur permet ainsi de différencier trois types d'état morphodynamique : les états réfléchissants, intermédiaires et dissipatifs (Tableau III.2). A chacun de ces domaines morphodynamiques correspond un type de déferlement. Trois types de déferlements sont reconnus dans la littérature (Figure III.3) : les déferlements gonflants, *surging breaker*, associés au domaine réfléchissant, les déferlements glissants, *spilling breaker* caractéristiques des estrans dissipatifs et les déferlements plongeants, *plunging breaker*, associés aux domaines intermédiaires (Short, 1999).

Le paramètre de réplification de barre a été élaboré à partir des travaux de Guza et Inman (1975), tel que :

$$\text{Formule (9)} \quad \varepsilon = (H_b \sigma) / g \tan^2 \beta$$

avec  $\beta$  la pente de la plage en degré,  $H_b$ , la hauteur des brisants et  $Lo$  la longueur d'onde de la houle au large et  $\sigma$  la fréquence radiante de la houle telle que  $\delta = 2\pi T$

Il permet de mettre en évidence l'importance relative des processus de réfraction et de dissipation de l'énergie des houles incidentes dans la zone de déferlement (Masselink et Hedges, 2003), en fonction de la morphologie de la pente de la plage. Sur les plages caractérisées par des pentes raides et fortes, la zone de déferlement est généralement peu importante et une large part de l'énergie des houles incidentes est réfléchi. Sur les plages caractérisées par des pentes faibles, peu inclinées, une large part de l'énergie des vagues incidentes est dissipée durant le processus de déferlement. A partir des valeurs de la pente de la plage et des caractéristiques des houles, le paramètre d'échelonnement de barres est utilisé pour décrire le caractère réfléchissant ou dissipatif des plages.

Le tableau III.2 rappelle les principales valeurs retenues par ces auteurs pour qualifier le type de comportement morphodynamique caractérisant les plages sableuses.

	Domaine réfléchissant	Domaine intermédiaire	Domaine dissipatif
Paramètre d'échelonnement de barre	$\varepsilon < 2.5$	$2.5 < \varepsilon < 20$	$\varepsilon > 20$
Paramètre de réplification de barre	$\zeta > 1$	$1 > \zeta > 0.23$	$\zeta < 0.23$

Tableau III.2: Valeurs seuils des indicateurs morphodynamiques définissant les comportements réfléchissants, intermédiaires et dissipatifs des plages.

Les valeurs retenues pour caractériser les plages méso à macro tidales en suivant la classification de Masselink et Short (1993) sont indiquées sur la figure III.2.

## II.2. Caractérisation du comportement morphodynamique des plages de Bretagne Sud : méthodologie adoptée sur les plages étudiées

L'utilisation de paramètres morphodynamiques pour décrire le comportement et l'évolution des plages est largement discuté dans la littérature actuelle (*Dolique, 2006, Masselink et al., 2006, Gomez Pujol et al., 2007, Jiménez et al., 2008, Sénéchal et al., 2009, Baldock et al., 2010*). De manière à décrire le comportement morphodynamique des plages de Bretagne Sud, les paramètres d'échelonnement de barres ( $\epsilon$ ), de réplifications de barres ( $\zeta$ ) et le marnage relatif (RTR) ont été calculés pour chaque période de suivi morphologique. Ces indicateurs sont les plus couramment utilisés sur les côtes macro tidales (*Anthony, 1998, Levoy, 2000, Dolique, 2006*) ou sur des plages de poches, en milieu méso tidal (*Anfuso et al., 2003, Dehouck, 2006*).

Les travaux de Dehouck (2009) ont contribué à définir le fonctionnement morphodynamique des plages de poche de la mer d'Iroise. Compartimentées entre de nombreuses pointes rocheuses et un platier sub-affleurant au large, ces plages partagent des caractéristiques morphologiques semblables à celles observées sur les plages de Bretagne Sud (Chapitre 1). Sur ce type de plages, le comportement morphodynamique est plus efficacement défini à partir des paramètres de réplication et d'échelonnement de barres que par le paramètre  $\Omega$  (*Dehouck, 2006*). Ces résultats sont conformes aux observations d'Anthony (1998) qui souligne les limites de l'utilisation du paramètre  $\Omega$  sur les plages macro tidales. Les principales limites de cet indicateur résident dans la difficulté de définir un indice granulométrique représentatif des conditions énergétiques caractérisant l'ensemble du profil. De même, Levoy et al. (2000) ont mis en évidence que ces indicateurs, basés sur des indices morphologiques tels que la pente de la plage, sont mieux adaptés pour analyser le comportement morphodynamique des plages macro tidales de la Manche, soumises à des régimes énergétiques modérés, caractérisés par une hauteur significative des vagues inférieures à 0.50m. Sur les plages de Normandie, la dissipation de l'énergie des houles est liée à la présence d'un large estran dissipatif. Sur les plages de la mer d'Iroise et de Bretagne Sud, elle est liée à la présence de platiers rocheux, d'îles et de hauts-fonds.

Les valeurs de chaque indicateur morphodynamique ont été calculées à partir des formules (7), (8) et (9). La pente de plage ( $\beta$ ) a été mesurée à partir des profils levés lors de chaque période de suivi morphologique, suivant la méthodologie présentée précédemment (I). Les données de houle utilisées proviennent des bouées 08503 (Ile d'Yeu Nord) et 04403 (Plateau du Four) (Chapitre 1).

Lors de certaines campagnes terrain, des observations *in situ* ont été effectuées pour estimer la hauteur des vagues au déferlement.

Les observations ont été réalisées en s'inspirant de la méthode du mât gradué (*Wang et al., 1998, Levoy, 1994, Sabatier, 2001*) : la mire du théodolite a été positionnée à environ 1m de profondeur et la hauteur des brisants a été estimé en lisant les graduations sur la mire. Ces observations fournissent une information qualitative sur le type d'agitation, mais ne permettent pas de quantifier précisément la hauteur des brisants. Afin d'être intégrée aux calculs des paramètres morphodynamiques, la hauteur des brisants a été obtenue à l'aide de la formule de Komar et Gaughan (1972) qui permet d'obtenir des hauteurs de houles au déferlement proches de celles observées *in situ* (*Sabatier, 2001*).

Cette formule décrit la relation entre la hauteur des houles au large et la hauteur des brisants telle que :

$$\text{Formule (10)} \quad H_b/H_o = 0.56 (L_o/H_o)^{1/5}$$

Les travaux de Sabatier (2001) ont cherché à comparer 11 formules fréquemment utilisées dans la littérature pour estimer la hauteur des houles déferlements. Parmi elles, la formule de Komar et Gaughan (1972) permet d'obtenir des résultats satisfaisants (coefficient de corrélation > 70 entre les données *in situ* et les données de modèle) même si les meilleures estimations sont obtenues à partir des formules prenant en compte la pente dans la zone de déferlement. Les travaux de Stepanian (2002) utilisent également cette formule.

La formule de Komar et Gaughan (1972) repose sur l'hypothèse que les caractéristiques des houles au large sont similaires à celles observées dans les petits fonds. Dans notre secteur d'étude, les variations bathymétriques entre le point de mesure des houles au large et la côte sont importantes, impliquant l'occurrence de processus de réfraction et une transformation des caractéristiques des houles mesurées au large. Ne disposant pas de mesures *in situ* suffisantes pour quantifier ces processus et estimer la hauteur des vagues sur la plage, ces travaux ont cherché à vérifier que les hauteurs des vagues au déferlement obtenues à partir de la houle au large étaient cohérentes avec les données obtenues à partir de houles déformées par réfraction et *shaoling*. L'objectif est de vérifier que les hauteurs de brisants ( $H_b$ ) intégrées aux calculs des paramètres morphodynamiques décrivent le même type d'agitation que les valeurs obtenues à partir des houles à la côte et impliquent le même type d'interactions morphodynamiques. Afin de vérifier cette relation, les paramètres d'échelonnement de barres et de réplication de barres ont été re-calculés en remplaçant les valeurs de  $H_b$  obtenues à partir des houles au large ( $H_o$ ) par des valeurs de  $H_b$  obtenues à partir des hauteurs des houles significatives à la côte ( $H_s$ ). Ces hauteurs de houle ont été obtenues à partir des données en format NetCDF issues des bases de données PREVIMER (Chapitre 1). Pour l'année 2008, seules les données de houles obtenues à partir du modèle REFDIF Sud Bretagne sont disponibles. Elles couvrent uniquement les plages du massif dunaire Gâvres – Penthievre (Chapitre 1).

En raison de ces contraintes, l'analyse de l'incidence de l'utilisation des données de houles du large sur l'identification du comportement morphodynamique des plages n'a pu être vérifiée que sur ce secteur. Le détail des résultats obtenus est présenté en annexe (Annexe I). D'une manière générale, les hauteurs des brisants estimées à partir de la houle au large et de la houle en bas de plage fournie par le modèle appartiennent aux mêmes ordres de grandeur. Il en résulte que les comportements des plages sont quasiment toujours classés dans les mêmes domaines morphodynamiques.

Aux vues de ces résultats, l'utilisation de la formule (10) pour estimer la hauteur des brisants ( $H_b$ ) a été appliquée sur les deux autres secteurs étudiés, en baie de Quiberon et Presqu'île de Rhuys. Pour calculer  $H_b$ , la valeur moyenne de la hauteur significative des houles au large, prévalant pendant la marée précédant les relevés topographiques, a été utilisée (Levoy *et al.*, 2000).

Les valeurs de RTR ont été calculées pour chaque jour correspondant à un suivi topographique à partir de la formule (5).  $H_b$  a été obtenue à partir de la méthode proposée précédemment.

Le marnage moyen a été calculé à partir des hauteurs d'eau répertoriées par le SHOM (Chapitre 1) dans les ports de référence de Port Louis, Port Haliguen et de Pénérif, afin de respectivement caractériser le marnage relatif pour les plages du massif dunaire, de la baie de Quiberon et de la Presqu'île de Rhuys. La période de temps retenue pour estimer le marnage moyen correspond à la durée de la période concernée par les mesures de topographie des plages. Elle s'étend ainsi de Février 2008 à Juin 2009.

L'utilisation de ces différents indicateurs a permis de définir le type de comportement morphodynamique des plages pour chaque période de suivi morphologique. Ces états de plage varient sur différentes échelles temporelles, en réponse aux variations de facteurs, tels que les caractéristiques des vagues et des sédiments, sur le court terme, ou l'importance de la réserve sédimentaire sur le long terme. Ces variations s'inscrivent dans deux types de séquences, renseignant sur le mode d'évolution des plages (Short, 1999):

- Les séquences d'accrétion: les plages passent d'un état dissipatif à un état réfléchissant. Sur le court terme, ce changement se produit en réponse à une diminution de hauteur des brisants.
- Les séquences d'érosion: les plages passent d'un état réfléchissant à un état dissipatif, en réponse, sur le court terme, à une augmentation de la taille des brisants.

Les variations des valeurs obtenues par ces indicateurs entre différentes périodes de suivi morphologique ont permis de déterminer le type de séquence (érosion vs accrétion) dans lequel s'inscrit leur évolution sur le court terme.



En théorie, lorsque les valeurs de  $\varepsilon$  diminuent et que les valeurs de  $\zeta$  augmentent, l'évolution de la plage s'inscrit dans une séquence d'accrétion, et inversement.

### III. PRELEVEMENTS ET TRAITEMENTS DES ECHANTILLONS SEDIMENTAIRES

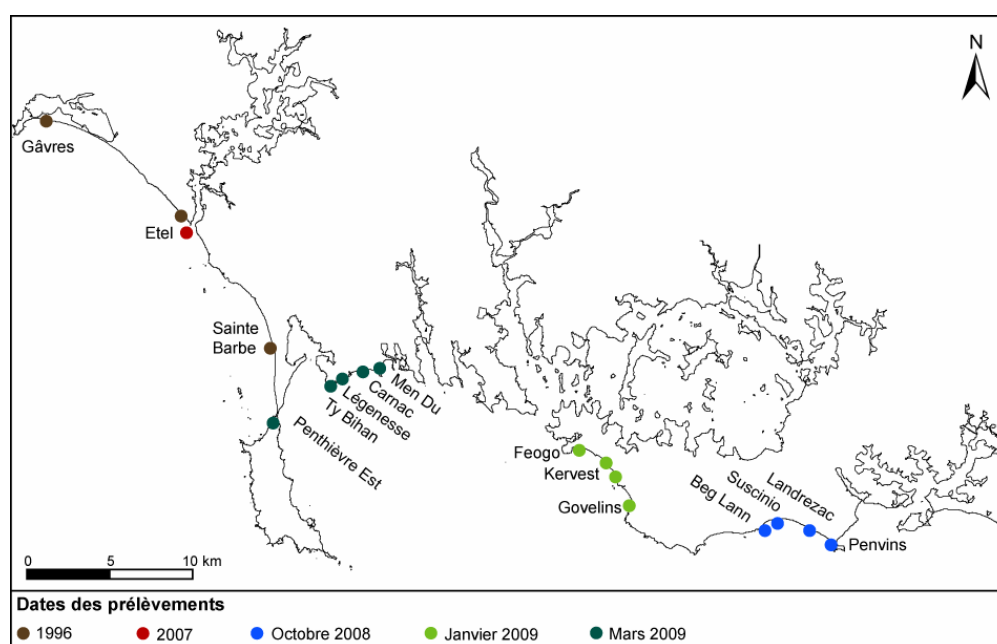
De manière à caractériser le type de granulométrie composant les plages étudiées, une analyse ponctuelle a été réalisée à partir d'une part, de données prélevées sur certains profils et d'autre part, de données préexistantes à cette étude.

Le nombre total d'échantillons disponibles pour l'analyse ainsi que les dates de prélèvements sont présentés dans le tableau III.3 Le long des plages du massif dunaire Gâvres-Penthièvre, des prélèvements ont été réalisés par la Direction Départementale de l'Équipement (1996) et par l'Université de Bretagne Sud (*Estournes et al.*, 2007, 2008).

Massif dunaire Gâvres Penthièvre		Baie de Quiberon		Anse de Suscinio	
Nombre d'échantillons	Date des prélèvements	Nombre d'échantillons	Date des prélèvements	Nombre d'échantillons	Date des prélèvements
15	1996 (DDE)	15	Mars 2009	12	Octobre 2008
3	2007 (UBS)	12	Janvier 2009		

Tableau III.3 : Nombre d'échantillons sédimentaires traités et dates de prélèvements

Au sein du massif dunaire, les prélèvements datés de 1996 ont été réalisés au niveau de la ria d'Etel (Carte III.1). Les trois autres prélèvements concernent la plage de Gâvres, la plage d'Etel et la plage de Saint Barbe (Carte III.1).



Carte III.1 : Localisation des plages sur lesquelles ont été prélevés les échantillons sédimentaires

En baie de Quiberon, les échantillons prélevés en Mars 2009 concernent les plages de l'Est et du centre de la baie (Carte III.1). Ils ont été réalisés sur les plages de Penthievre, Ty Bihan, Légenesse et Men Du. En Janvier 2009, les prélèvements ont été réalisés sur les plages du Foego, de Kervest et des Govelins, situées au Sud-Est du Golfe (Carte III.1). En Octobre 2008, les prélèvements réalisés dans l'anse de Susicinio concernent les plages de Beg Lann, de Susicinio, de Landrezac et Penvins (Carte III.1).

En baie de Quiberon et dans l'anse de Susicinio, les prélèvements ont été réalisés le long des profils de plage réalisés lors des campagnes terrain correspondant aux dates présentées dans le tableau III.3. Trois prélèvements d'échantillons sédimentaires ont été effectués, en haut, milieu et bas de plage (Figure III.4).

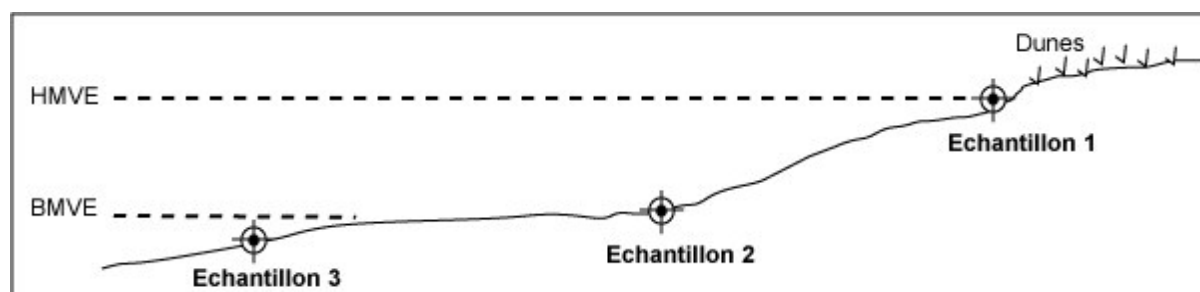


Figure III.4 : Localisation des prélèvements sédimentaires, sur l'estran, le long des profils

Les sédiments prélevés durant les campagnes terrain 2008-2009 ont été rincés, séchés puis tamisés, en utilisant une colonne comptant huit tailles différentes de tamis de norme AFNOR comprises entre 2 mm et 80  $\mu$ m. Cette étude s'est ainsi intéressée à la couverture sableuse et grossière. Les fines, peu représentées, excepté en bas de plage n'ont pas été analysées.

Pour chaque échantillon, trois indicateurs granulométriques ont ensuite été mesurés : le diamètre moyen des grains ( $\mu$ ), l'indice adimensionnel de tri ( $\sigma$ ) et l'indice d'asymétrie ( $Sk$ ). Ces différents calculs ont été effectués en utilisant la méthode de Mc Bird (1971) (*in Hemdane, 2006*) qui permet de prendre en compte l'ensemble de la distribution granulométrique des échantillons. Cette méthode, aussi appelée méthode des moments, nécessite l'utilisation d'une échelle en phi. Afin de pouvoir l'appliquer aux données granulométriques recueillies sur le terrain, le diamètre des mailles des tamis utilisés pour trier les grains a été converti en phi en utilisant la relation décrite par la formule (11) :

$$(Formule 11) \quad \phi = -\log 2D$$

Avec  $D$  le diamètre en mm et  $\phi$  le diamètre en phi.

Les sédiments pesés et recueillis dans chaque tamis ont ensuite été répartis en cinq classes correspondant à l'échelle en phi utilisée par la méthode des moments (*Masselink et Hedges, 2003*).

La correspondance entre les classes définies par le diamètre de la maille des tamis AFNOR et celles utilisées pour appliquer la méthode des moments est présentée dans le tableau III.4.

Echelle en mm des tamis AFNOR (taille des mailles)	Conversion de l'échelle en phi (conversion diamètre des mailles)	Classes utilisées par la méthode des moments
2	-1	-2 à -1
1	0	-1 à 0
0.5	1	0 à 1
0.25	2	1 à 2
0.125	3	2 à 3
0.1	3.32	3 à 4
0.08	3.64	
0.05	4.32	

Tableau III.4 : Echelles en phi et en mm des classes granulométriques utilisées pour l'analyse

Pour les prélèvements concernant le massif dunaire Gâvres-Penthièvre, seules les valeurs des refus de tamis de l'analyse effectuée par la DDE pour les données de 1996 ont pu être récupérées. Pour ces données, la méthode d'analyse adoptée pour les prélèvements effectués sur les plages de la baie de Quiberon et de l'anse de Suscinio dans le cadre de ces recherches a été appliquée. Pour les prélèvements réalisés sur les plages de Gâvres, Etel et Saint Barbe, seuls les résultats obtenus par Estournes et al. (2007, 2008) seront discutés au Chapitre 8.

Le diamètre moyen des grains ( $\mu$ ) est obtenu à l'aide de la formule (12) :

$$(Formule 12) \quad \mu = \frac{\sum f_i m_i}{100}$$

L'indice de tri ( $\sigma$ ) est obtenu à l'aide de la formule (13) :

$$(Formule 13) \quad \sigma = \frac{\sum f (m - \mu)^2}{100}$$

L'indice d'asymétrie ( $Sk$ ) est obtenu à l'aide de la formule (14) :

$$(Formule\ 14) \quad Sk = \frac{\sum f(m - \mu)^3}{100\sigma^3}$$

Les valeurs obtenues par ces indicateurs ont été discutées à partir de l'interprétation proposée par Masselink et Hudges (2003). D'après ces auteurs, la qualité du tri d'un échantillon donné est en partie contrôlée d'une part par la granulométrie des sources sédimentaires, et d'autre part par l'importance et l'action des transports résultant des contraintes hydrodynamiques et éoliennes. L'indice d'asymétrie permet de mesurer le degré de symétrie du mode de distribution des tailles des grains d'un échantillon par rapport à la médiane, en déterminant pour chaque échantillon si les grains caractérisés par un diamètre inférieur ou supérieur à la taille médiane sont sous ou surreprésentés. Une surreprésentation des grains plus fins que la taille médiane se traduit par une asymétrie positive ( $Sk < 1$ ) alors qu'une surreprésentation des particules plus grossières que la taille médiane se traduit par une asymétrie ( $Sk > 1$ ) (Masselink et Hughes, 2003). Lors du dépôt, les sédiments, qui ont été triés lors de la phase de transport, sont rarement asymétriques. L'asymétrie observée dans un échantillon résulte alors, en général, soit d'un apport sédimentaire généré par un autre transport, soit d'une remobilisation partielle des sédiments déposés. Les valeurs seuils permettant d'interpréter les indices adimensionnels de tri et d'asymétrie sont proposées dans le tableau III.5.

Indice de tri en Phi		Indice d'asymétrie en Phi	
< 0.35	Très bien trié	> 0.30	Forte surreprésentation des particules plus fines
0.35 à 0.50	Bien trié	+ 0.30 à + 0.10	Surreprésentation des particules plus fines
0.50 à 1	Modérément trié	+ 0.10 à -0.10	Distribution symétrique
1 à 2	Mal trié	- 0.10 à -0.30	Surreprésentation des particules plus grossières
> 2	Très mal trié	< - 0.30	Forte surreprésentation des particules plus grossières

Tableau III.5: Paramètres granulométriques utilisés pour l'analyse. D'après Masselink G. et Hughes M.G., 2003, *Introduction to Coastal Processes and Geomorphology*, chapitre 4, p. 106.

Synthèse générale du chapitre 7 :

La méthode présentée au sein de ce chapitre 7 a pour objectif de permettre l'étude et l'analyse du comportement morphologique et morphodynamique des plages de Bretagne Sud, sur le court terme, à l'échelle annuelle. Elle repose sur l'analyse de trois composantes renseignant sur l'évolution des formes littorales sur le court terme : les variations des profils, les variations des comportements morphodynamiques, ou « des états de plages », et la couverture sédimentaire des plages. Les variations des profils de plage et des comportements morphodynamiques sont mises en relation avec la variation des conditions d'agitation prévalant entre deux levées topographiques de façon à analyser l'impact des contraintes hydrodynamiques et météorologiques sur l'évolution des plages.

La fréquence et la localisation des relevés topographiques ont été programmées de manière à obtenir un maximum de données permettant d'interpréter le fonctionnement des plages à court terme. Toutefois, la forte extension spatiale de la zone d'étude, le nombre élevé de plages concernées par l'analyse, les contraintes liées aux conditions tidales et météorologiques, ainsi qu'à l'utilisation et la réservation du matériel n'ont pas permis de mettre en place un suivi parfaitement régulier au sein des trois systèmes littoraux étudiés.

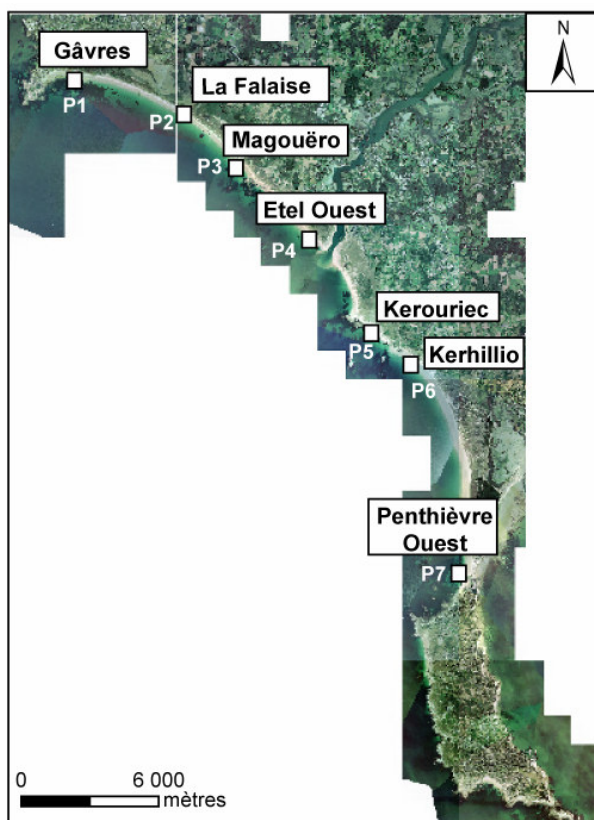
## CHAPITRE 8 : ANALYSE ET INTERPRETATION DES DONNEES TERRAIN

Ce chapitre a pour objectif de discuter les résultats obtenus à partir de chacune des analyses présentées au sein du chapitre précédent. Il est divisé en trois parties qui présentent successivement les résultats obtenus par l'analyse des variations des profils de plage, par l'analyse des comportements morphodynamiques et par l'analyse de la couverture sédimentaire.

### I. ANALYSE DES VARIATIONS DES PROFILS DE PLAGE

#### I.1. Variations des profils des plages du secteur Gâvres-Penthièvre

Entre Mars 2008 et Mai 2009, 27 profils de plage ont été levés sur 7 plages réparties le long du massif dunaire Gâvres-Penthièvre (carte III.2) à l'aide du théodolite laser.



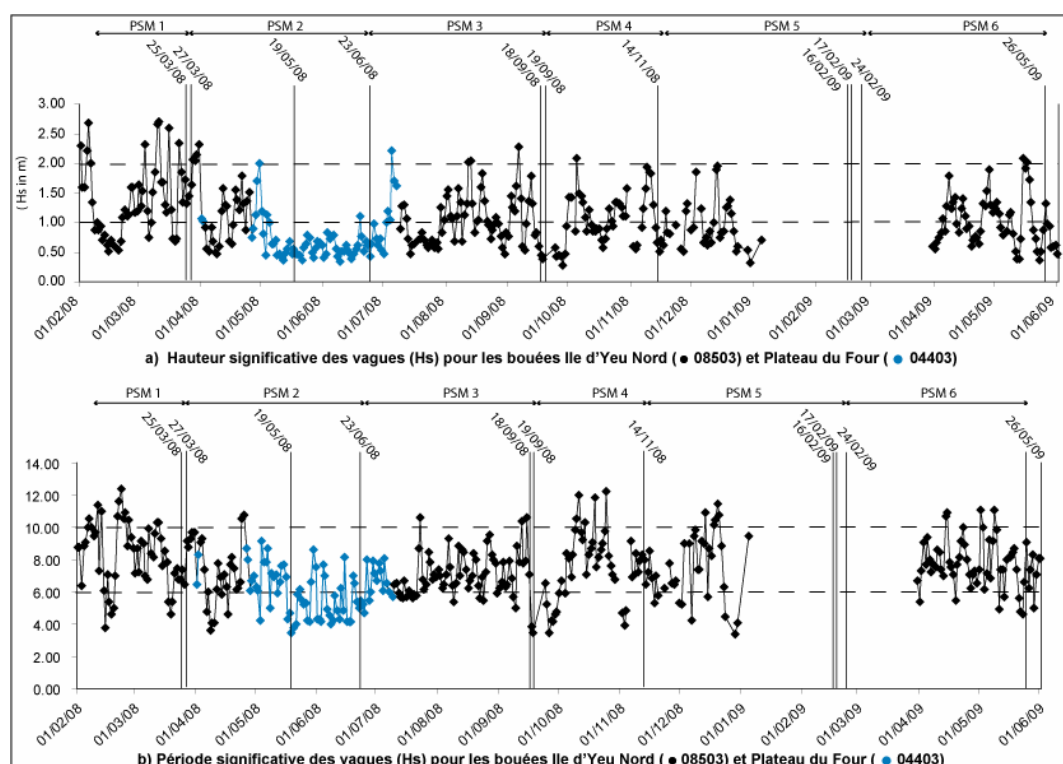
*Carte III.2: Localisation des profils levés au sein du massif dunaire Gâvres - Penthièvre entre Février 2008 et Février 2009*

D'une manière générale, les plages du massif dunaire sont caractérisées par des pentes relativement fortes, notamment dans la partie centrale du massif où les valeurs moyennes obtenues pour la période d'étude sont comprises entre 6°15 à Etel Ouest et 3°42 pour la plage du Magouëro. Les plages de Gâvres et de Kerhillio sont caractérisées par des valeurs de pentes plus faibles, atteignant respectivement 1°65 et 1°71 (Tableau III.6).

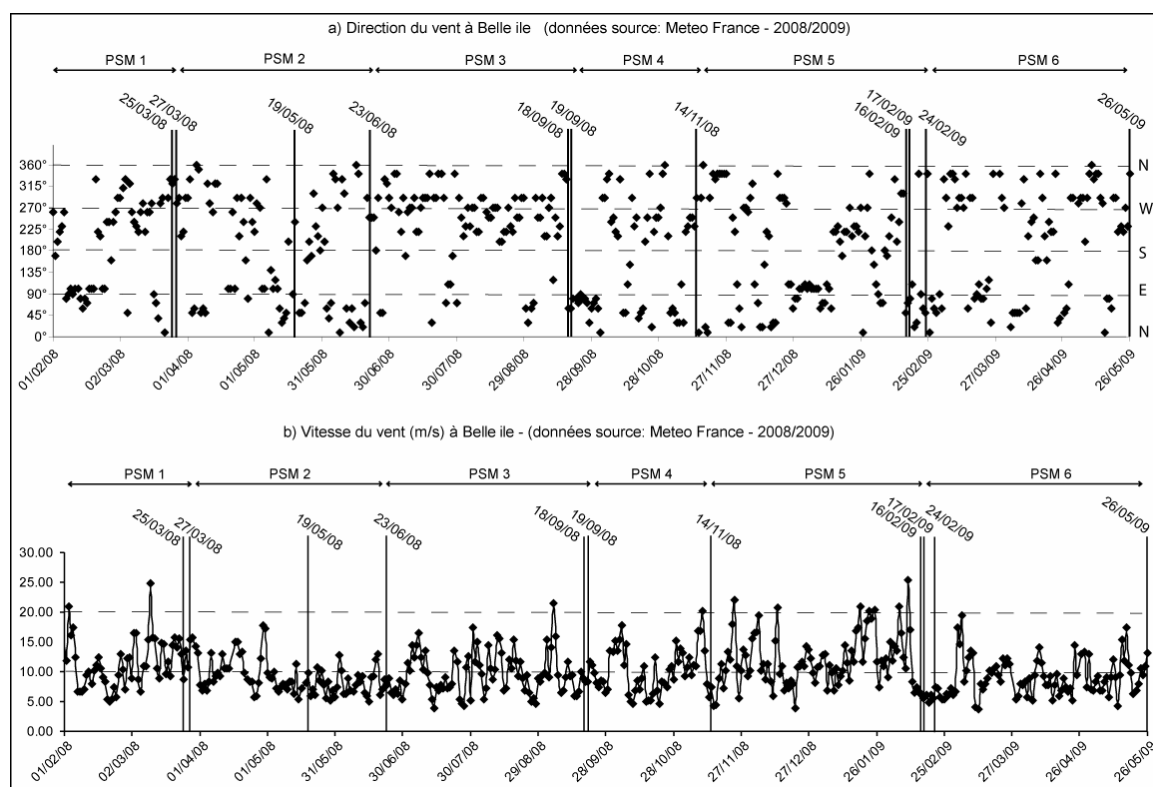
<b>tanβ - Valeur de la pente en degré</b>						
	Mars 2008	Mai/Juin 2008	Sept 2008	Nov 2008	Février 2009	Pente moyenne
Gâvres	1.73	1.29	1.59	1.46	2.17	<b>1.65</b>
La Falaise		3.43	2.84	3.67	4.87	<b>3.70</b>
Magouëro		3.67	2.5	3.65	3.84	<b>3.42</b>
Etel Ouest	7.32	3.6	6.94	6.64	6.27	<b>6.15</b>
Kerouriec		5.7	5.41	5.44	5.04	<b>5.40</b>
Kerhillio		1.66	1.49	1.32	2.35	<b>1.71</b>
	Mars 2008	Février 2009	Mai 2008	<b>Pente Moyenne</b>		
Penthièvre Ouest	4.51	2.75	1.99	<b>3.08</b>		

Tableau III.6 : Valeurs des pentes des plages étudiées au sein du Massif dunaire Gâvres-Penthièvre

Les graphiques III.1 et III.2 représentent la variation des hauteurs significatives des houles et des caractéristiques des vents durant chacune des périodes de suivi morphologique.



Graphique III.1 : Variations des caractéristiques des houles au sein des périodes de suivi morphologique mises en place sur les plages du Massif dunaire Gâvres-Penthièvre



Graphique III.2 : Variations des caractéristiques des vents au sein des périodes de suivi morphologique mises en place sur les plages du Massif dunaire Gâvres-Penthièvre

De manière synthétique, entre Février 2008 et Mai 2009, les conditions d'agitation modale et faiblement agitée ou agitée sont dominantes avec des valeurs de Hs au large majoritairement comprises entre 0.5m et 1.5m. Les conditions d'agitation les plus fortes dominent sur la première période de suivi morphologique qui s'achève le 27 Mars 2008 (Tableau III.7). Cette période inclue la tempête du 10 Mars 2008. Associée à des vents de Sud-Ouest, supérieurs à 25m/s, cette tempête est survenue à marée haute, avec une marée de coefficient 103 et a provoqué une surcôte de plus de 3.80 m (Annexe J). Il s'agit de la surcôte la plus importante enregistrée sur la période analysée. Jusqu'au 27 Mars 2008, les hauteurs de houle significatives supérieures à 2m représentent plus de 14% du total des valeurs enregistrées.

Hs	PSM1	PSM2	PSM3	PSM4	PSM5	PSM6	Période Complète
<0.5 m	0.00%	25.88%	6.98%	10.00%	-	-	11.82%
0.5 m - 1 m	30.36%	49.41%	47.67%	40.00%	-	-	46.31%
1 m - 1.5 m	30.36%	16.47%	31.40%	34.00%	-	-	30.05%
1.5 m - 2 m	25.00%	3.53%	9.30%	10.00%	-	-	6.90%
>2 m	14.29%	4.71%	4.65%	6.00%	-	-	4.93%
Total	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	-	-	100.00%

Tableau III.7 : Caractéristiques des houles lors de chaque PSM au sein du massif dunaire



La période suivante, qui s'achève en Juin 2008 est marquée par des conditions d'agitation moins importantes. Avec 25% des hauteurs significatives inférieures à 0.50m, elle constitue la période de suivi morphologique la plus calme. Les autres périodes sont marquées par une alternance de conditions d'agitation faible, modérée ou forte. Les vents provenant d'un large quart Sud-Ouest / Nord-Ouest sont caractérisés par les vitesses les plus fortes, ( $> 10\text{m/s}$ ). Lorsque ces vents sont prédominants, les hauteurs significatives des houles sont les plus élevées ( $> 1\text{m}$ ). Les vents de secteur Est sont caractérisés par les vitesses les plus faibles ( $< 10\text{m/s}$ ) (Graphique III.1 – Graphique III.2).

### 1.1.1. Evolution générale des plages

La figure III.5 synthétise les variations des profils enregistrées sur les plages du massif dunaire entre Mars 2008 et Mai 2009.

A Gâvres (Figure III.5a), le profil s'étend sur quasiment 120 m lors des marées basses de vives eaux. La plage est orientée Sud. L'enveloppe maximale des variations verticales enregistrées par le profil atteint quasiment 2.5 m. Ces variations sont localisées sur la haute et moyenne plage. Sur l'ensemble de la période concernée par le suivi morphologique de la plage, les processus d'érosion dominent. Ces variations sont les plus importantes enregistrées sur les plages du massif dunaire. A Gâvres, la plage est adossée à un mur de protection contre la mer, qui pourrait en partie expliquer l'accentuation de la variabilité des profils. Les plages de la Falaise (Figure III.5b), du Magouëro (Figure III.5c), d'Etel Ouest (Figure III.5d), de Kerouriec (Figure III.5e) et de Kerhillio (Figure III.5f) sont orientées Sud-Ouest. Excepté sur la plage du Magouëro où elle atteint 2 m, l'enveloppe maximale des variations des profils est proche de 1 m sur ces plages. Sur les plages de la Falaise et du Magouëro la variabilité des profils est plus forte sur le haut de plage et la moyenne plage supérieure. A Kerouriec et Kerhillio les variations concernent tout le profil de plage situé entre le niveau des pleines et basses mers de vives eaux.

Sur les plages de la Falaise et de Kerhillio, la variabilité des profils de plage décrite par les figures III.5b et III.5f s'inscrit dans une séquence d'érosion. A l'inverse, sur les plages du Magouëro et de Kerouriec, les processus d'accrétion dominent sur la période étudiée. Ces plages sont situées face à des zones de roche présentes dans les petits fonds (Figure 1.5) et des platiers émergents sont sur la basse plage (Photo III.2).

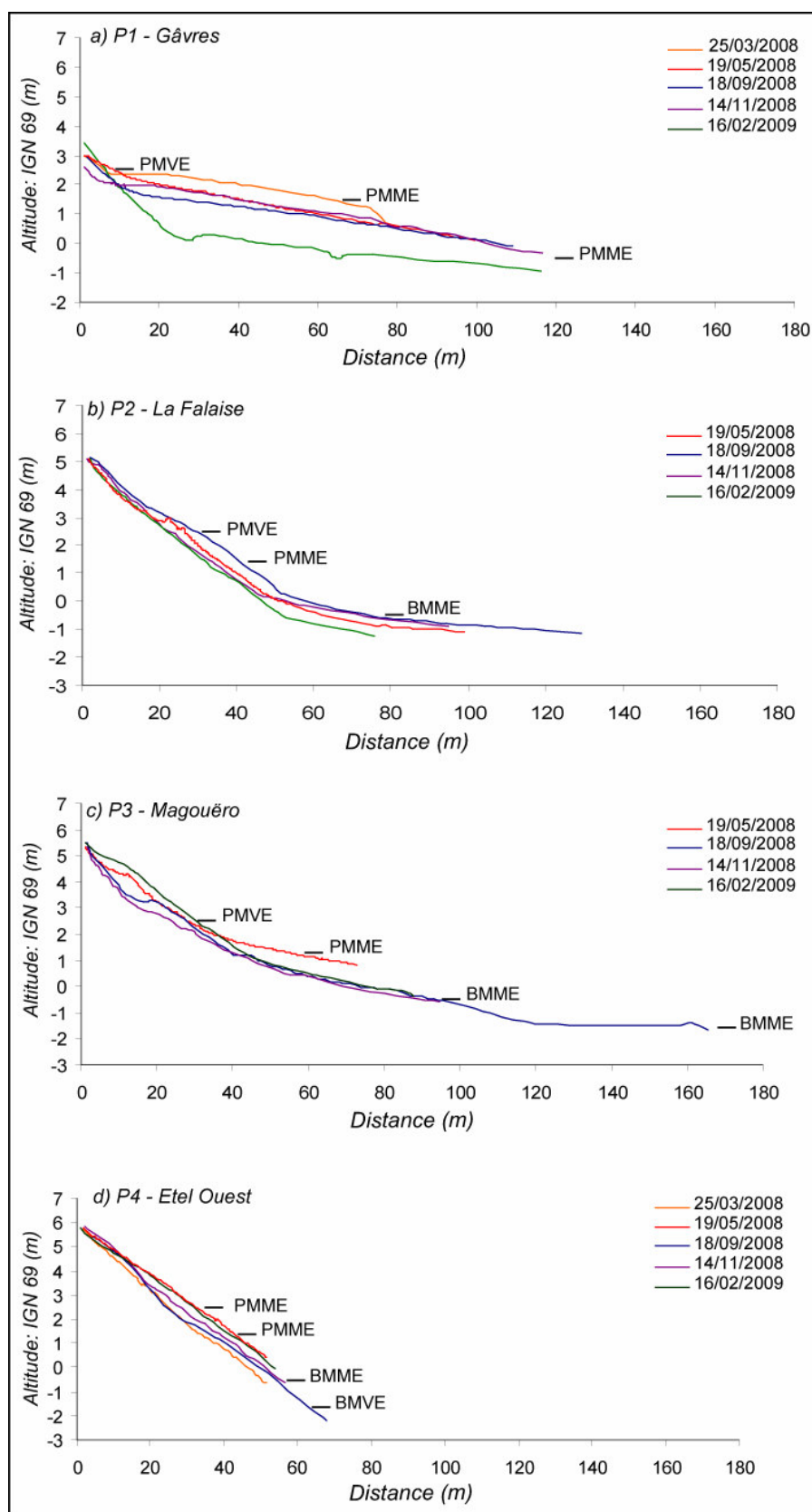


Figure III.5 : Variations des profils de plage levés au sein du massif dunaire Gâvres - Penthièvre

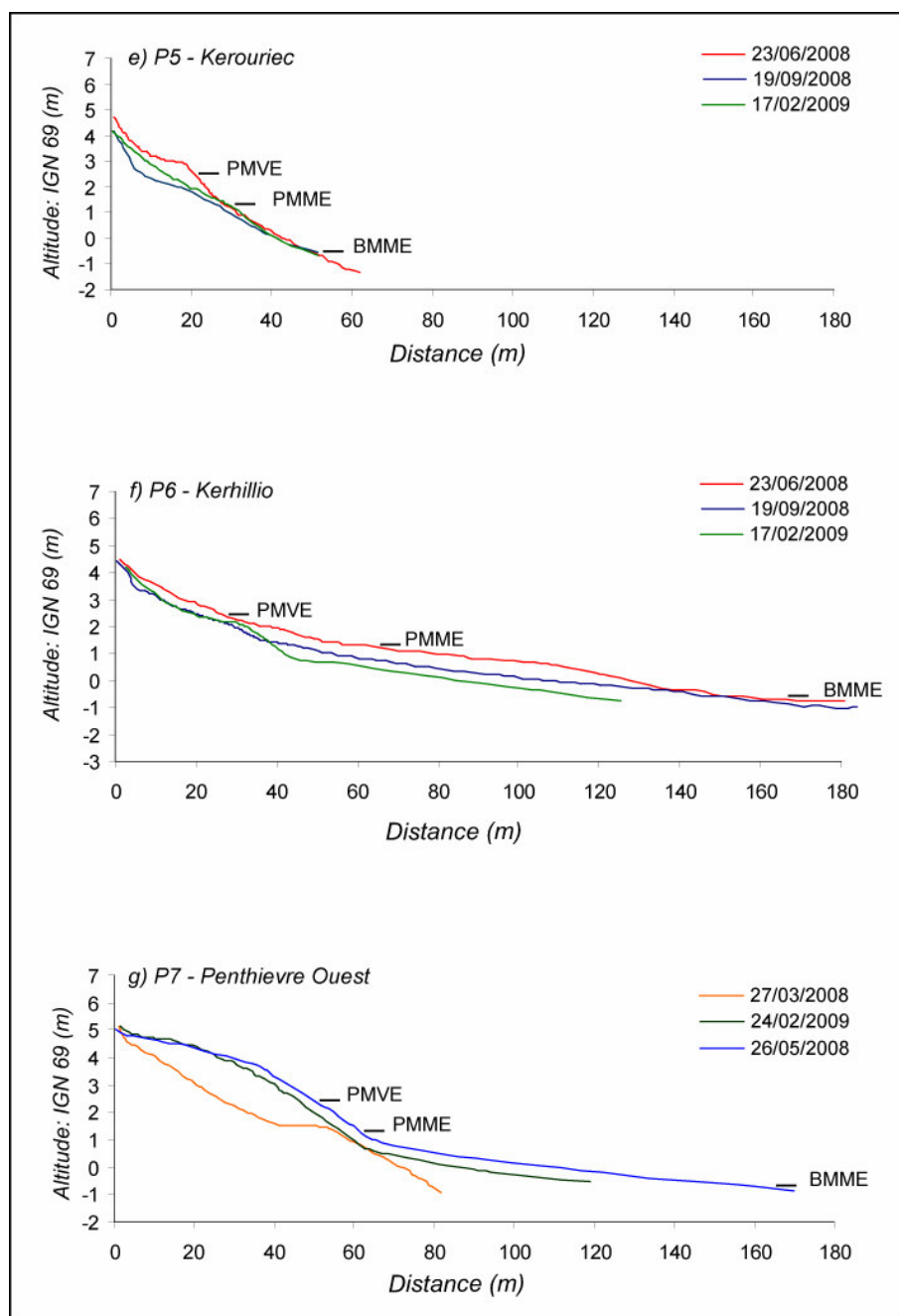


Figure III.5 : Variations des profils de plage levés au sein du massif dunaire Gâvres - Penthièvre



*Photo III.2 : Platier affleurant à mi-marée sur la plage du Magouëro (Février 2007)*

A Etel Ouest, les variations des profils de plage situés à l'Ouest de l'embouchure de la Ria d'Etel décrivent une évolution cyclique. Le profil levé à Etel Ouest n'excède pas 70 m, et apparaît comme l'un des plus courts du secteur. Pour les autres plages, le profil s'étend sur une distance supérieure à 120 m / 130 m lors des marées basses de vives eaux.

A Penthievre Ouest, le profil levé est orienté Ouest. La plage est adossée à un mur, d'une hauteur inférieure à 1m, qui isole le massif dunaire de la route. Entre le mur et le haut de plage, s'étend une dune embryonnaire couverte d'oyat (Partie I). Des zones de roches sont situées dans les petits fonds, entre -5m et -10m, face à la plage (Carte I.6). Le profil s'étend sur environ 160 m lors des marées basses de vives eaux. L'enveloppe verticale maximale des variations verticales est supérieure à 2 m, notamment sur le haut de plage.

### 1.1.2. Variations des profils au cours de la Période de Suivi Morphologique 1

La première PSM se termine le 27 Mars 2008 avec le profil levé à Penthievre Ouest. Cette période est caractérisée par des conditions d'agitation forte et fréquente ainsi que l'occurrence d'une forte tempête le 10 Mars 2008, associée à des valeurs de Hs supérieures à 2.5m pour une période supérieure à 10s et des vents de 25m/s, orientés Sud Ouest. Les profils ont été levés après la tempête.

A Gâvres, le profil est le plus gras de la période, notamment sur le haut de plage. Cette accumulation peut être expliquée par un apport de matériel sédimentaire sur le haut de l'estran lors de la tempête du 10 Mars 2008. Cette hypothèse est renforcée par les apports de sables déposés sur le parking par les processus d'*overwash* qui ont prévalu lors de la tempête (Photo III.3).



Photo III.3 : Sables déposés par la mer sur le parking de la plage de Gâvres - Photo prise le 15 Mars 2008

Ainsi, à Gâvres, cette tempête semble avoir provoqué un apport considérable de sables sur l'estran, transportés, pour partie, par-dessus le mur, sur le parking. Dans ce cas, la tempête a favorisé l'accumulation des sédiments en haut de plage et contribue à construire la plage avec un processus similaire à celui d'*overtopping* décrit par Orford et al. (2002) sur des cordons de galets. A l'inverse, à Etel Ouest et Penthièvre Ouest, les profils levés respectivement les 25 Mars et 27 Mars 2008 sont les plus affaissés, suggérant que les conditions d'agitation forte prévalant pendant cette période ainsi que la tempête ont favorisé des transports sédimentaires vers les petits fonds et l'érosion du profil (Dubois, 1988, Hill et al., 2004).

### 1.1.3. Variations des profils au cours de la Période de Suivi Morphologique 2

La seconde PSM est comprise entre le 27 Mars 2008 et le 23 Juin 2008. Elle peut être divisée en deux sous périodes d'environ un mois et demi chacune. La première sous période perdure jusqu'en Mai 2008 et elle est caractérisée par des conditions d'agitation forte, avec des valeurs de Hs comprises entre 1m et 2m, et des vitesses de vent comprises entre 10m/s et 15m/s. Les vents les plus forts sont globalement orientés Sud-Ouest.

La seconde sous période est caractérisée par des conditions d'agitation modale avec des valeurs moyennes de Hs proches de 0.50m et des vitesses de vent faibles à modérées, inférieures à 10m/s. Durant cette période, le profil est légèrement érodé à Gâvres sur des épaisseurs proches de 0.50 m sur la moyenne plage supérieure. Cette évolution peut être expliquée par une redistribution des sables accumulés lors de la tempête de Mars 2008 le long des profils sous l'effet combiné des conditions d'agitation forte en début de période et modérée en fin de période. Sur la plage de la Falaise, le profil levé en Mai 2008 est approximativement situé au centre de l'enveloppe des variations verticales du profil. Il est caractérisé par la présence de croissants de plage en haut de plage.

Sur la plage du Magouëro, le profil est gras, caractérisé par une berme en haut de plage qui résulte de l'accumulation du matériel sédimentaire dans des conditions d'agitation modales (Dubois, 1988).

A Etel Ouest, entre Mars 2008 et Mai 2008, le profil enregistre une accrétion qui peut être mise en relation avec des apports sédimentaires *onshore* caractérisant les périodes de beau temps (Dubois, 1988). A Kerouriec, le profil levé en Mai 2008 est également marqué par une berme en haut de plage, au niveau des marées hautes de vives eaux, pouvant être associée à des processus d'accumulation sédimentaire en haut de plage, dans des conditions d'agitation modales. Le même phénomène, d'amplitude moindre, est observé à Kerhillio. Ainsi, d'une manière générale, les profils de plage levés durant cette période témoignent d'une morphologie adaptée à des conditions d'agitation faible à modérée favorisant des apports sédimentaires sur l'estran.

#### 1.1.4. Variations des profils au cours de la Période de Suivi Morphologique 3

La troisième PSM débute en Juin 2008 pour s'achever le 19 Septembre 2008. Elle est marquée par des conditions d'agitation modérée à forte avec des valeurs de Hs comprises entre 1m et 2m, une courte période de beau temps mi-juillet où les vitesses de vents, orientés Est, sont inférieures à 10m/s et trois tempêtes (Hs > 2m) associées à des vents Nord-Ouest et Sud-Ouest, supérieurs à 15m/s durant l'été 2008 et 20m/s mi-Septembre.

Durant cette période, le profil de Gâvres est érodé (- 0.50 m), notamment en haut de plage. Cette érosion pourrait résulter des transports sédimentaires *offshore* se produisant lors des conditions d'agitation forte (Dubois, 1988 ; Hill et al., 2004). Inversement, sur la plage de la Falaise, le profil tend à s'engraisser et des barres transverses se mettent en place sur la haute et moyenne plage. Associée à des vents globalement orientés Ouest, Sud-Ouest sur la période, cette évolution semble suggérer un transit sédimentaire entre ces plages contrôlé par des courants de dérive orientés Sud-Ouest. Sur la plage du Magouëro, le profil est fortement érodé, notamment en haut de plage. De plus, la berme tend à migrer vers le bas de plage. A Etel Ouest, le profil est fortement érodé au niveau des pleines mers de vives eaux.

A Kérouriec et Kerhillio le profil s'affaisse sur toute sa longueur, sur une épaisseur supérieure à 1 m à Kérouriec et inférieure à 1m à Kerhillio. Sur ces quatre plages, l'évolution morphologique semble contrôlée par les conditions fortes qui prévalent en fin de période et favorisent l'érosion de l'estran associée à l'occurrence de transport *offshore* (Dubois, 1988 ; Hill et al., 2004).

#### I.1.5. Variations des profils au cours de la Période de Suivi Morphologique 4

La quatrième PSM s'étend du 19 Septembre 2008 au 14 Novembre 2008. Elle est caractérisée par des conditions d'agitation forte, et l'occurrence de deux tempêtes début Octobre et fin Novembre.

Ces deux tempêtes sont caractérisées par des valeurs de Hs et Ts respectivement supérieures à 2.5m et 10s, et respectivement associées à des vents Nord-Ouest et Sud-Ouest supérieurs à 15m/s et 20m/s. Entre ces deux périodes agitées, une période de beau temps se met en place mi-October, caractérisée par des vents Nord-Est, inférieurs à 10m/s et une houle faible à modérée.

Les profils levés le 14 Novembre 2008 sur la plage de la Falaise et du Magouëro sont érodés et traduisent un transport *offshore* provoqué par la tempête de début Novembre. A Etel Ouest, le profil reste relativement stable pendant cette période, excepté au niveau des pleines mers de vives eaux où le profil enregistre une accrétion. L'orientation des vents orientés Sud Ouest laisse suggérer un transit sédimentaire parallèle au trait de côte orienté Sud Ouest sur ces plages, à la fin de cette période. A Gâvres, le haut de plage est érodé devant le mur, mais le reste du profil enregistre une accrétion qui pourrait être mise en relation avec un apport sédimentaire sur la plage.

#### I.1.6. Variations des profils au cours de la Période de Suivi Morphologique 5

La cinquième PSM débute le 14 Novembre 2008 et s'achève le 24 Février 2009. Des données de houle sont manquantes pour cette période car indisponibles sur la base de données archivées CANDHIS gérée par le CETMEF. Le début de la période est marqué début Décembre 2008 par l'occurrence de deux tempêtes, caractérisées par des valeurs de Hs et Ts respectivement supérieures à 2m et 8s, durant deux jours et associées à des vents Sud-Est supérieurs à 20m/s. Ces tempêtes sont précédées de plusieurs jours de beau temps, dominés par des vents Est, Nord-Est. Les dernières semaines de Décembre sont caractérisées par des conditions d'agitation faible ( $H_s < 0.50$  m) associée à des vents d'Est. La fin de la période est caractérisée fin Janvier 2009 et début Février 2009 par des vents forts, orientés Sud-Ouest, supérieurs à 20m/s pendant plusieurs jours et excédant 25m/s le 9 Février 2009. A partir de ces données météorologiques, il est possible de faire l'hypothèse que la fin de la PSM 5 est marquée par des conditions d'agitation forte, avec une houle importante, orientée majoritairement Sud-Ouest.

Sur les plages de Gâvres, la Falaise et Kerhillio les variations des profils enregistrées sur cette période témoignent d'une érosion de la plage, importante à Gâvres où elle s'effectue sur plus de 1m sur la haute et moyenne plage.

Inversement, sur la plage du Magouëro, à Etel Ouest, Kerouriec et Penthièvre Ouest, les variations des profils soulignent un engraissement des profils.

Ces évolutions laissent suggérer l'existence d'un transit sédimentaire orienté Sud Ouest de part et d'autre de la Ria d'Etel, érodant les plages de Gâvres et de la Falaise et favorisant l'accrétion de celles du Magouëro, d'Etel Ouest et de Kerouriec. Entre les plages de Kerhillio et de Penthièvre Ouest, un transit sédimentaire orienté Sud Est semble également se mettre en place.

De plus, les plages du Magouëro, de Kerouriec et de Penthièvre Ouest sont toutes trois localisées en face de zones de roches présentes dans les petits fonds. La présence des zones de roches pourrait favoriser l'accumulation sur l'estran des sédiments transportés par les courants de dérive littorale en interrompant ponctuellement le transit sédimentaire contrôlé par les courants de dérive littorale.

#### *1.1.7. Variations des profils au cours de la Période de Suivi Morphologique 7*

Cette dernière PSM concerne uniquement la plage de Penthièvre Ouest. Elle s'étend du 27 Janvier 2009 au 26 Mai 2009. Les mois d'Avril 2009, Mai 2009 et Juin 2009, précédant la levée, sont tous trois caractérisés par l'occurrence d'une tempête associée à des valeurs de Hs proches de 2m. Les jours suivants ces tempêtes sont caractérisées par des conditions d'agitation forte. Les vents sont orientés Nord-Ouest et Sud-Ouest. Entre chacun de ces épisodes tempétueux, des périodes de beau temps se mettent en place sur 5 à 7 jours. Le profil a été levé le 26 Mai 2009 après la période de beau temps succédant à la dernière tempête. Durant cette période, le profil levé à Penthièvre Ouest enregistre une légère accrétion, indiquant que l'ensemble des mouvements sédimentaires générés par l'alternance de périodes agitées et de périodes calmes se traduit par un bilan sédimentaire excédentaire.



### Synthèse :

L'analyse des profils levés sur les plages du massif dunaire met en évidence les réponses morphologiques des plages aux variations des conditions d'agitation prévalant entre Mars 2008 et Mai 2009 (Graphique III.1 et Graphique III.2).

D'une manière générale, l'occurrence de conditions d'agitation modérée à forte se traduit par des variations importantes des profils de plage, notamment sur la haute et moyenne plage (Figure III.5). La variabilité des conditions d'agitation prévalant sur la période d'étude se traduit également dans l'évolution des profils de plage. En périodes de beau temps, les processus de transport sédimentaire *onshore* dominant alors que l'érosion des profils durant les périodes de forte agitation suggère l'existence de transports sédimentaires orientés *offshore*. Ces types de comportements correspondent relativement bien aux variations saisonnières des profils de plage décrits dans la littérature (*Dubois, 1988 ; Larson et Krauss., 1994, Lee et al., 1998, Hill, 2004*).

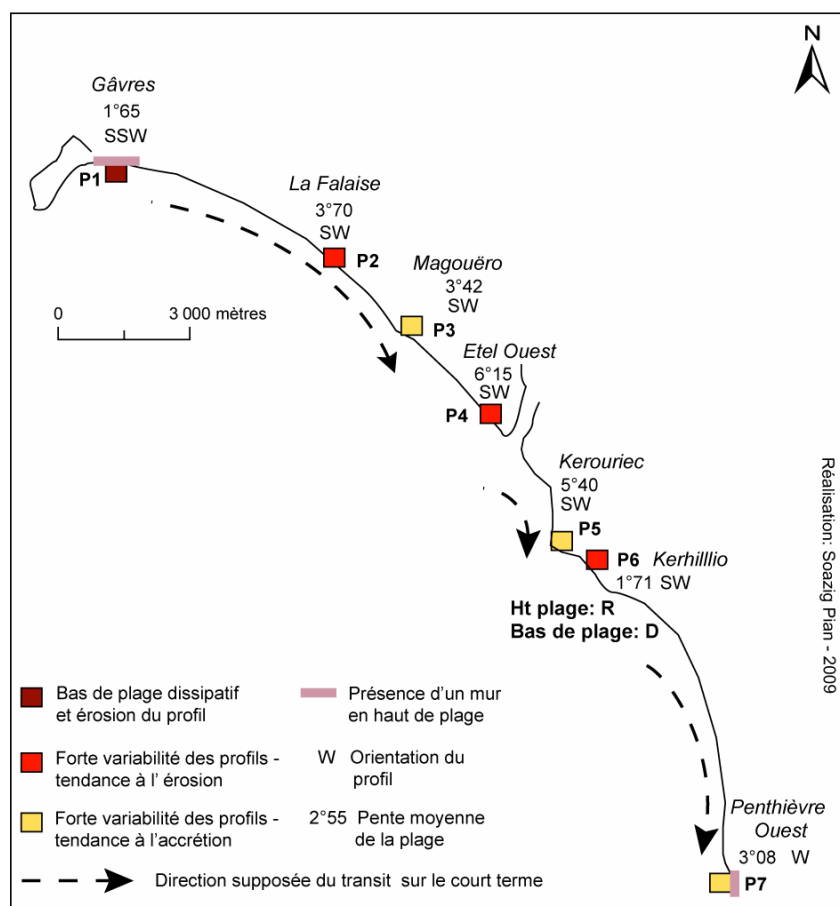
Par ailleurs, l'ensemble des variations des profils enregistrées entre l'hiver 2008 et le printemps 2009 souligne l'existence d'un transit sédimentaire *alongshore* entre les plages, orienté Sud-Est de part et d'autre de la Ria d'Etel. Ce transit sédimentaire explique en partie les variations des comportements des profils de plage le long du massif dunaire au sein des différentes périodes de suivi morphologique (Carte III.3).

L'évolution des profils paraît également influencée par des contraintes morphologiques et les différents degrés d'exposition induits par l'orientation des plages. Lors de la tempête du 10 Mars 2008, qui a généré une forte surcote sur la zone d'étude, la plage de Gâvres orientée Sud est la seule plage qui enregistre des apports sédimentaires sur le haut de plage. Des processus d'*overwash* sont également observés. A l'exception de la plage de Penthièvre Ouest, les autres plages sont orientées Sud-Ouest.

Sur l'ensemble de la période, les plages du Magouëro, de Kérouriec et de Penthièvre Ouest s'engraissent sur la période étudiée (Carte III.3). Ces plages sont localisées face à des zones de roches, situées dans les petits fonds (Carte I.5). Des platiers affleurent en bas de plage. L'engraissement du profil peut être mis en relation avec la présence de ces zones de roches, susceptibles de perturber les transits sédimentaires *alongshore*.

Enfin, deux plages sont adossées à un mur de défense contre la mer. Il s'agit des plages de Gâvres et de Penthièvre Ouest (Carte I.5). L'évolution de ces deux plages, sur la période étudiée, est caractérisée par les plus fortes variabilités saisonnières des profils enregistrées sur le secteur.

A partir des observations discutées par Basco et al. (1997), l'accentuation de la variabilité des profils de plages peut être mise en relation avec la présence des murs de défense contre la mer en haut de plage.



*Carte III.3 : Synthèse du comportement des profils des plages sur le court terme au sein du massif dunaire*

Ainsi, sur l'ensemble de la période étudiée, trois facteurs interviennent pour expliquer l'évolution des profils de plages :

- La mise en place d'un courant de dérive littorale orienté Sud-Est,
- La morphologie de l'avant plage, marquée par la présence d'affleurements rocheux susceptibles d'interrompre ou perturber les transits sédimentaires,
- La présence d'un mur de défense contre la mer, en haut de plage, accentuant la variabilité des profils.

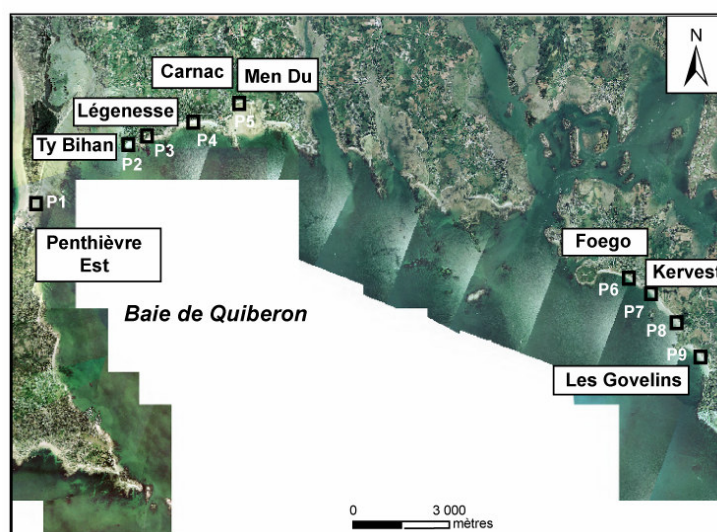
## I.2. Variations des profils des plages de la baie de Quiberon

Entre Février 2008 et Juin 2009, 31 profils de plages ont été levés sur 8 plages en baie de Quiberon (carte III.4). Les plages situées à l'Est et au centre de la baie sont concernées par les périodes de suivi morphologique 1 à 3. Elles sont abritées des houles orientées Ouest, Sud-Ouest par la Presqu'île rocheuse de Quiberon (Chapitre 1 – Carte I. 7). Les plages situées au Sud Est du Golfe sont concernées par les périodes de suivi morphologique 4 à 6.

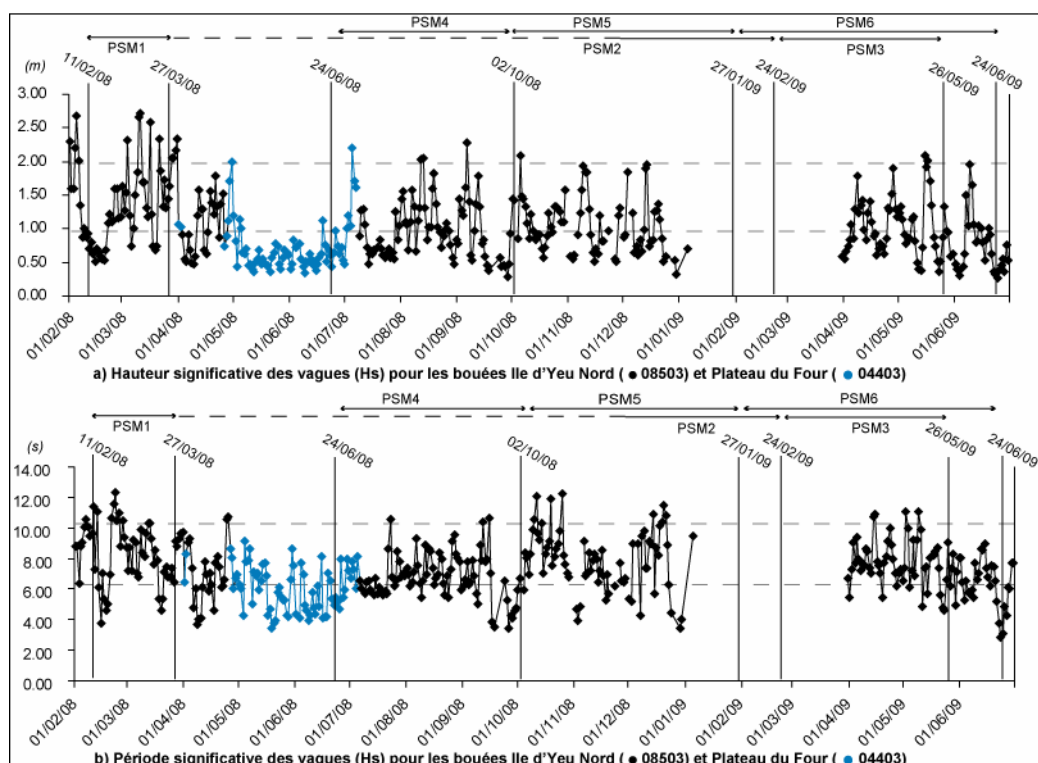
	Pente des plages en degré - $\tan \beta$				
	Février 2008	Mars 2008	Février 2009	Mai 2009	Pente Moyenne
Penthièvre Est	5.55	7.65	2.63	2.72	<b>4.64</b>
Ty bihan	4.71	3.32	3.41	4.28	<b>3.93</b>
Légenesse	4.47	3.94	4.53	4.81	<b>4.44</b>
Carnac	2.84	2.86	3.58	3.35	<b>3.16</b>
Men Du	-	2.37	1.32	0.81	<b>1.50</b>
	Juin 2008	Octobre 2008	Janvier 2008	Juin 2009	<b>Pente Moyenne</b>
Foego	5.02	5.14	8.3	5.61	<b>6.02</b>
Etang de Tumiach	5.45	4.52	6.66	4.97	<b>5.40</b>
Kervest	3.51	3.74	3.42	4.84	<b>3.88</b>
Govelin	4.81	3.76	3.61	7.34	<b>4.88</b>

Tableau III.8 : Valeurs des pentes des plages étudiées au sein de la baie de Quiberon

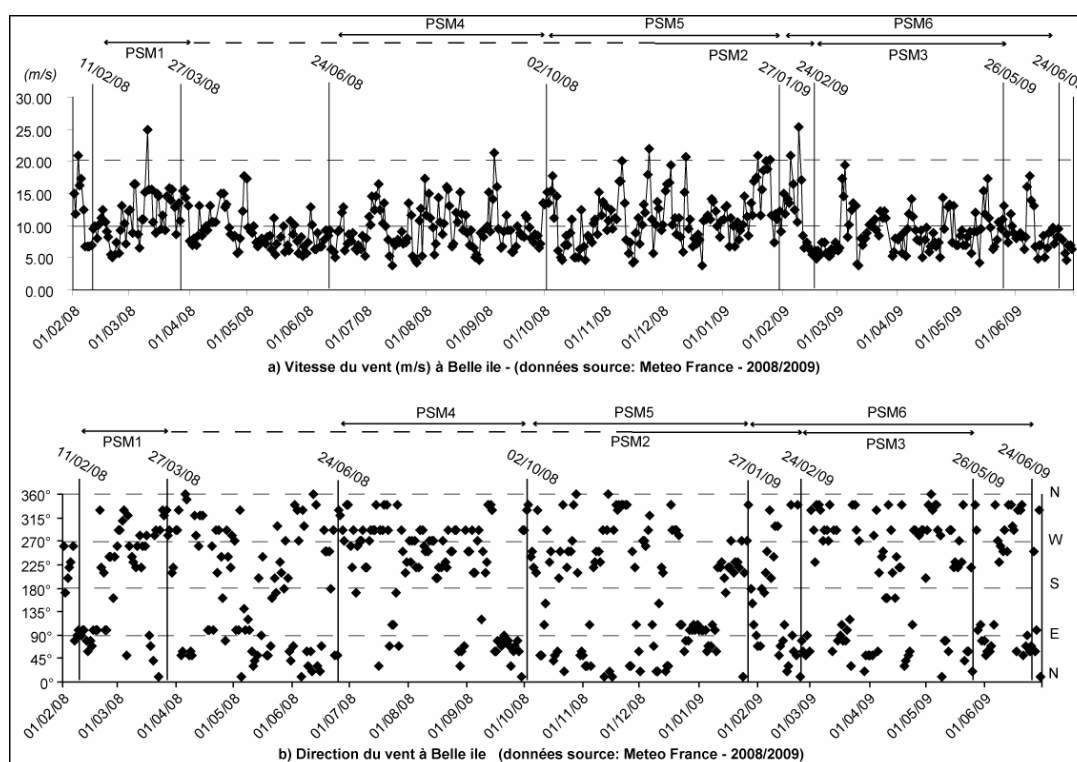
Sur la façade Est de la baie, à Penthièvre, la pente moyenne de la plage est proche de  $4^{\circ}60$ . Au centre de la baie, la pente moyenne varie autour de  $4^{\circ}$  selon les plages. Au Sud Est du Golfe, les valeurs des pentes sont plus fortes et atteignent  $6^{\circ}02$  et  $5^{\circ}40$  sur les plages du Foego et de Kervest – Etang de Tumiach (Tableau III.8). Les graphiques III.3 et III.4 représentent les variations des caractéristiques des houles et du vent durant chacune des périodes de suivi morphologique mises en place en baie de Quiberon.



Carte III.4: Localisation des profils de plages levés dans la baie de Quiberon



Graphique III.3 : Variations des caractéristiques des houles au sein des périodes de suivi morphologique mises en place sur les plages de la baie de Quiberon



Graphique III.4 : Variations des caractéristiques des vents au sein des périodes de suivi morphologique mises en place sur les plages de la baie de Quiberon

L'ensemble des profils ont été levés entre Février 2008 et Juin 2009. Les conditions d'agitation prévalant durant cette période correspondent globalement à celles décrites entre Février 2008 et Mai 2009 pour le massif dunaire : l'ensemble de la période est marqué par des conditions d'agitation modale, faiblement agitée et agitée fréquentes. D'après les données de houles disponibles (Graphique III.3), seuls les profils levés en Juin 2008 (PSM 4) sont réalisés après une période de beau temps, marquée par des vitesses de vents assez faibles, 5m/s en moyenne (Graphique III.4) et des hauteurs de houles significatives inférieures à 0.50m fréquentes (Graphique III.3). Les autres profils sont levés après des périodes plus agitées : soit après des événements tempétueux, soit après une courte période de beau temps, consécutive à des périodes d'agitation forte.

### 1.2.1. Evolution générale des plages

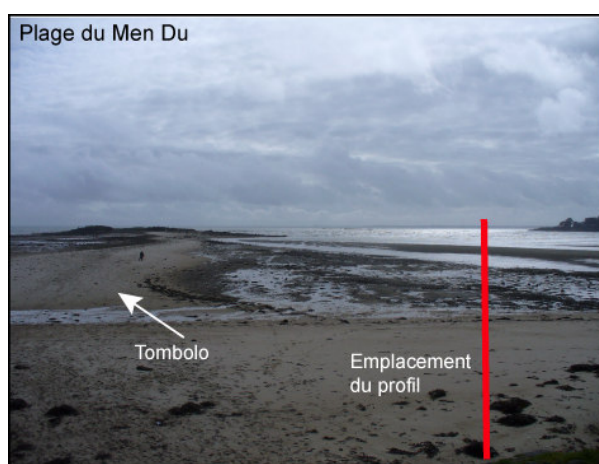
La figure III.6 synthétise les variations des profils enregistrées sur les plages de la baie de Quiberon entre Février 2008 et Juin 2009.

A Penthievre Est (Figure III.6a), l'estran sableux s'étend sur plus de 100 m lors des marées basses de mortes eaux. La plage est orientée Est. Elle est adossée à un mur de défense contre la mer en arrière duquel sont établis des parkings. L'enveloppe maximale des variations verticales enregistrées par le profil est inférieure à 1 m. Les variations les plus importantes sont essentiellement localisées en haut de plage, au pied du mur, et sur la partie supérieure de la moyenne plage, située dans la zone de déferlement. Sur l'ensemble de la période concernée par le suivi morphologique de la plage, les processus d'érosion dominant globalement jusqu'au niveau moyen de la mer, puis au-delà, en bas de plage, les processus d'accrétion dominant. Sur la moyenne plage supérieure, ces variations s'inscrivent toutefois dans une évolution cyclique. Les plages de Ty Bihan (Figure III.6b), de Légenesse (Figure III.6c) et de Carnac (Figure III.6d) sont séparées les unes des autres par des pointes rocheuses, prolongées vers la mer par des platiers rocheux. Les plages de Ty Bihan et de Légenesse sont adossées à un mur de protection contre la mer. La plage de Carnac est prolongée, côté terre, par un massif dunaire protégé par des barrières de ganivelles. L'estran sableux s'étend sur environ 100m. Les plages de Ty Bihan et de Carnac sont orientées Sud, et celle de Légenesse Sud-Ouest.

A Ty Bihan et Légenesse, les profils levés permettent essentiellement d'appréhender les changements morphologiques intervenus sur la moyenne plage. Sur la plage de Ty Bihan, l'enveloppe maximale des variations verticales du profil est proche de 2m en haut et milieu de plage. Sur les plages de Légenesse et de Carnac, elle atteint 1m, en milieu de plage et sur la partie inférieure de la moyenne plage.

Malgré une évolution plus contrastée en haut de plage, au-dessus du niveau atteint par les marées hautes de vives eaux, l'évolution des profils levés à Carnac témoigne d'un engraissement de la plage. A l'inverse, l'évolution des plages de Ty Bihan et de Légenesse est marquée par une alternance de séquences d'accrétion et d'érosion qui favorise le démaigrissement des plages sur la période étudiée.

La plage du Men Du diffère fortement de ces plages et les variations du profil sont représentées sur la figure II.6. L'estran s'étend sur plus de 200 m en période de vives eaux. L'enveloppe maximale des variations du profil est d'environ 1 m, notamment en haut de plage et sur la partie supérieure de la moyenne plage. Entre Mars 2008 et Mai 2009, le profil tend à s'engraisser. Le profil a été levé à l'Ouest du tombolo (Photo III.4).



*Photo III.4: Emplacement du profil sur la plage du Men Du*

Au Sud-Est du Golfe, les plages du Foego, de Kervest et des Govelins forment un cordon sableux encastré entre les pointes du Petit Mont et du Grand Mont. Ces plages sont orientées Sud-Ouest. Au Foego et à Kervest, étang de Tumiac, l'estran ne s'étend pas au-delà de 100 m. L'enveloppe verticale des variations des profils atteint 1m sur la plage du Foego, en milieu de plage, 2 m en haut de plage à Kervest, secteur Etang de Tumiac, 1.5m à Kervest, secteur Sud-Est en haut de plage, et elle reste inférieure à 1m sur la plage des Govelins. Les variations les plus importantes sont ainsi enregistrées sur la plage de Kervest qui forme la partie centrale du cordon sableux.

D'une manière générale, sur l'ensemble de ces plages, les variations des profils traduisent des évolutions cycliques marquées par une alternance de séquences d'érosion et d'accrétion, se produisant sur des pas de temps différents selon les plages. Sur les plages du Foego et de Kervest Sud-Est, l'ensemble des variations enregistrées témoigne d'une érosion du profil à la fin de la période d'étude. Sur la plage des Govelins, les processus d'accrétion dominant sur la période.

Sur la plage de Kervest, secteur Etang de Tumiach, les courbes représentant le premier et le dernier profil levés se confondent, témoignant d'un retour du profil à sa position de départ.

### 1.2.2. Variations des profils au cours de la Période de Suivi Morphologique 1

La PSM 1 débute le 11 Février 2008 et s'achève le 27 Mars 2008. Excepté la première semaine qui est caractérisée par des conditions d'agitation modales ( $H_s < 1\text{m}$  et  $T_s < 6\text{s}$ ) correspondant à une période de beau temps associée à des vents faibles ( $< 10\text{m/s}$ ) orientés Est, Nord-Est, cette période est marquée par des conditions d'agitation forte et des tempêtes avec des valeurs de  $H_s$  comprises entre 1.50m et 2.5m et des vents forts, supérieurs à 15m/s orientés Ouest, Sud-Ouest. La forte tempête du 10 Mars 2008 mentionnée précédemment survient à la fin de la période.

Excepté sur la plage de Penthievre Est, les variations des profils témoignent d'un net engraissement de la plage. L'accrétion du profil s'effectue sur une épaisseur proche de 2 m sur la plage de Ty Bihan, sur une épaisseur de 0.50m et 1m sur la haute et moyenne plage à Légenesse, et sur une épaisseur proche de 0.50m sur la moyenne plage de Carnac. Associée à de fortes houles, orientées Sud-Ouest, cette évolution suggère un transit sédimentaire convergeant vers le centre de la baie de Quiberon en condition de tempête.

Les houles orientées Sud-Ouest peuvent pénétrer la baie au niveau de la passe de la Teignouse (Carte I.7), puis leur réfraction au sein de la baie le long des isobathes favorise la formation de courants de dérive littorale convergeant vers la plage de Ty Bihan. Les plages de Légenesse et de Carnac, encastrées dans les pointes rocheuses, captent également une partie des sédiments transportés par les courants de dérive.

A l'inverse, la plage de Penthievre Est enregistre une érosion sur une épaisseur proche de 0.50m. La morphologie de cette plage diffère de celle observée dans le centre baie : la pente de la plage est marquée par une forte rupture de pente à environ 40m du mur et le niveau atteint par les marées hautes de vives eaux est situé à quelques mètres du pied du mur. Il en résulte que la zone de déferlement se situe, à marée haute, davantage en haut de plage et sur la partie supérieure de la moyenne plage. Dans ce contexte, l'accentuation des processus de *runup* en condition de tempête permet de mobiliser les sédiments situés sur la partie supérieure du profil et entraîne une érosion du profil. Les sédiments mobilisés peuvent ensuite être transportés *offshore* ou *alongshore*.

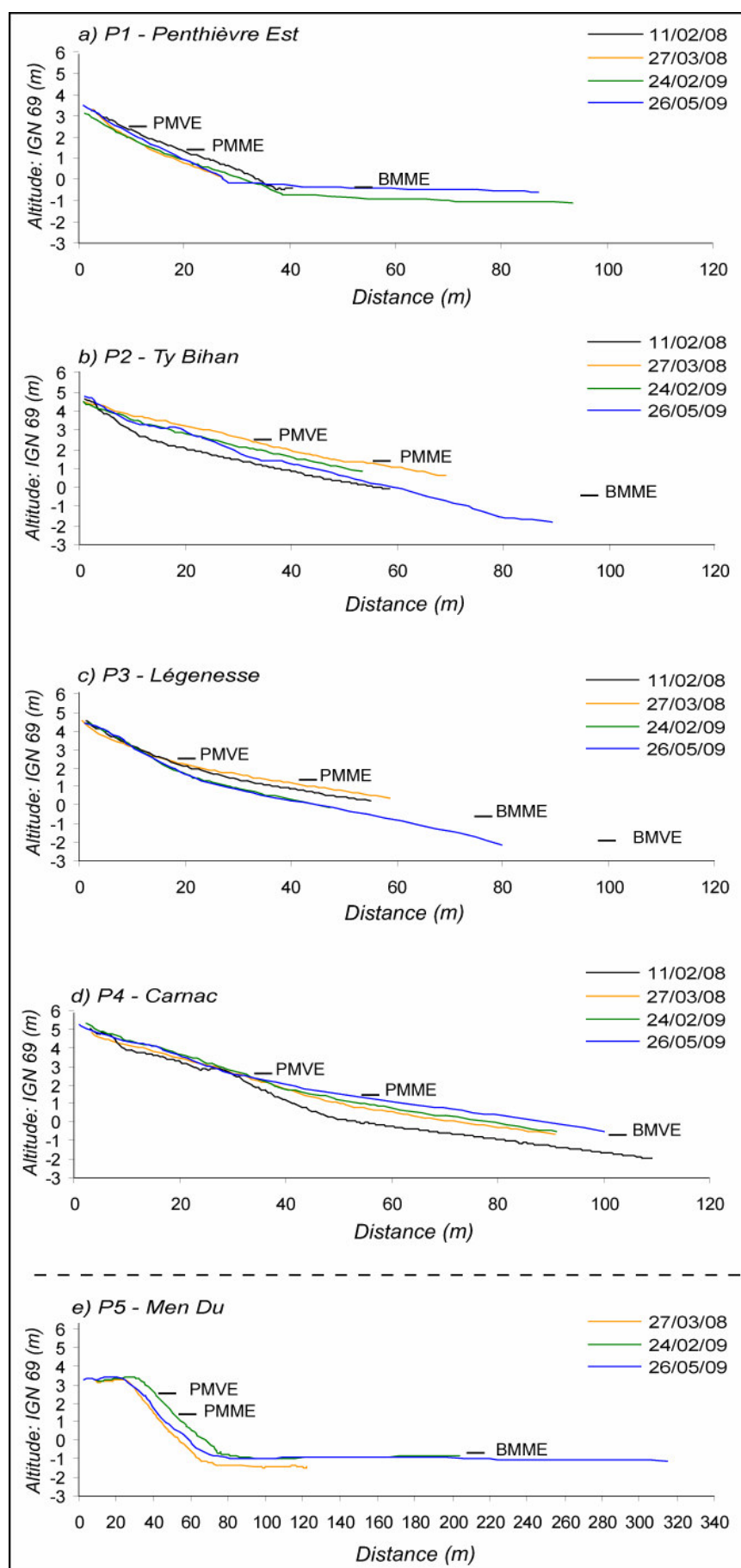


Figure III.6 : Variations des profils de plage levés au sein de la baie de Quiberon



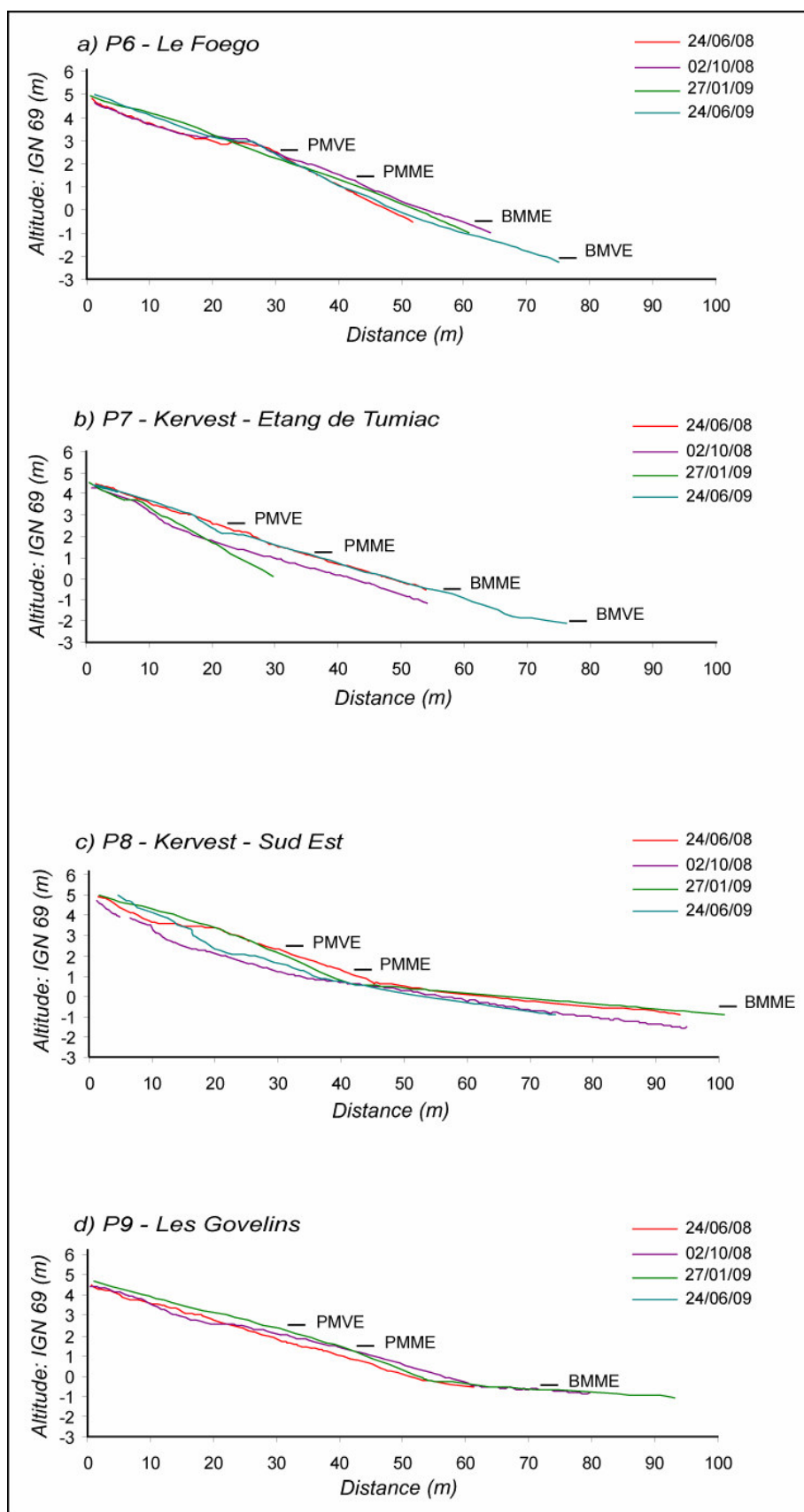


Figure III.6 : Variations des profils de plage levés au sein de la baie de Quiberon

### 1.2..3. Variations des profils au cours de la Période de Suivi Morphologique 2

La seconde PSM s'étend sur une période plus longue que la précédente et s'achève le 24 Février 2009. Les données de houle pour les mois de Janvier et Février 2009 sont manquantes.

D'une manière générale, la PSM2 est caractérisée par des conditions d'agitation forte et fréquente, excepté durant les mois de Mai 2008 et Juin 2008, et dans une moindre mesure, au début du mois Octobre 2008. Les données de houles disponibles précédant la levée des profils soulignent l'occurrence au début de l'hiver 2008 de trois tempêtes caractérisées par des valeurs de Hs supérieures ou égales à 2m avec des vents forts, supérieurs à 20m/s et orientés Nord-Ouest et Ouest. Les données de vents mettent également en évidence l'occurrence d'épisodes violents caractérisés par des vents forts, supérieurs à 20m/s et orientés Ouest avant la levée des profils. Le 9 Février 2009, les vents orientés Ouest sont supérieurs à 25m/s. Ces données attestent ainsi de conditions d'agitation forte. A partir du 11 Février 2009, les vitesses de vents deviennent inférieures à 10m/s, et les vents sont orientés Nord-Est. Ainsi, les profils levés le 24 Février ont été façonnés durant une longue période dominée par des conditions d'agitation forte et marquée par plusieurs tempêtes associées à des vents Ouest et Nord-Ouest.

A Penthievre Est, le profil levé le 24 Février 2008 présente une pente similaire à celle observée après la tempête du 10 Mars 2008. Le haut de plage est toutefois davantage érodé sur une épaisseur inférieure à 0.50 m. Cette érosion peut être mise en relation avec la présence du mur de défense contre la mer (*Basco et al., 1997*). Sur la plage de Ty Bihan, le profil levé en Février 2009 reste relativement gras bien que situé environ 0.50 m en dessous du profil levé en Mars 2008. Les houles fortes associées à des vents d'Ouest semblent favoriser les apports sédimentaires sur cette plage. L'orientation des isobathes dans ce secteur et l'importance de la zone de fetch permettent de supposer que les forts vents de secteur Ouest génèrent une mer de vent qui en se propageant favorise un courant de dérive littorale, orienté Nord-Est, entre les plages de Penthievre et de Ty Bihan. Les travaux de Sato (1996) ou plus récemment Gomez Pujol *et al.* (2007) ont mis en évidence que la propagation et la réfraction des mers de vents pouvaient contribuer à mettre en place des courants de dérive littorale dans les petits fonds. Par ailleurs, l'importance de la zone de fetch dans le fonctionnement de la baie a été mise en évidence par Jussy et Guilcher (1962). Ces deux derniers points renforcent l'hypothèse de l'importance de la mer de vent et de la zone de fetch dans la mise en place des courants littoraux en baie de Quiberon.

A Légenesse, le haut de plage est en accrétion. Au dessous du niveau atteint par les marées hautes de vives eaux, le profil s'affaisse sur 1m environ. A Carnac, le profil levé en Février 2009 est situé environ 0.5m à 1m en dessous du niveau de celui levé en Mars 2008.

Sur la plage du Men Du, l'évolution du profil est en accrétion : sur la haute et moyenne plage, il est situé 1 m au-dessus du profil levé en Mars 2008. L'accrétion du haut du profil de Légenesse, l'érosion du reste du profil, l'érosion du profil de Carnac et l'accrétion du profil de la plage du Men Du suggèrent également un transit sédimentaire orienté vers l'Est et Nord-Est, généré par les courants associés aux forts vents d'Ouest.

#### 1.2.4. Variations des profils au cours de la Période de Suivi Morphologique 3

La PSM 3 couvre une période comprise entre le 24 Février 2009 et le 26 Mai 2009. Sur cette période, les données de houle mettent en évidence l'occurrence de trois épisodes violents, se produisant le 8 Avril 2009, le 28 Avril 2009 et le 17 Mai 2009. Ces épisodes de tempêtes sont respectivement associés à des vents de secteur Ouest, Nord-Ouest et Sud-Ouest, et sont caractérisés par des valeurs de Hs égales ou supérieures à 2m. Ces conditions d'agitation forte sont suivies par de courtes périodes de beau temps, associées à des vents faibles à modérés de secteur Nord-Est.

Sur ce pas de temps, les variations de profil enregistrées à Penthievre Est indiquent une accrétion sur une épaisseur d'environ 0.80m sur la partie inférieure de la moyenne plage, et inférieure à 0.50m sur la partie supérieure de la moyenne plage. Les houles Sud-Ouest, réfractées après le passage de la passe de la Teignouse, favorisent l'alimentation de la plage.

La plage de Ty Bihan, à l'inverse, enregistre une forte érosion du profil, notamment sur la partie inférieure de la moyenne plage (- 2m). Le profil de la plage de Légenesse reste stable, et celui de la plage de Carnac enregistre une légère accrétion (< 0.50 m) sur la partie inférieure de la moyenne plage. Ces évolutions semblent indiquer l'existence d'un transit sédimentaire entre ces trois plages orientées vers l'Est, de Ty Bihan vers Carnac, associée à la réfraction des houles orientées Sud-Ouest sur les petits fonds susceptible de générer un courant de dérive littorale orienté vers l'Est. La pointe rocheuse située à l'Est de la plage de Carnac (Carte I.7) pourrait contribuer à retenir les sédiments et favoriser l'accumulation du profil.

La plage du Men Du est légèrement érodée en haut de plage où elle retrouve quasiment le niveau de Mars 2008. Sur la moyenne et basse plage, elle reste relativement stable. Plusieurs hypothèses peuvent être avancées pour expliquer cette évolution : l'érosion du haut de plage peut être mis en relation avec l'occurrence d'un courant de dérive littorale favorisant le transport des sédiments vers l'Est ou par l'occurrence d'un transport *offshore* associé aux conditions d'agitation forte.

### 1.2.5. Variations des profils au cours de la Période de Suivi Morphologique 4

La PSM 4 débute avec les profils levés le 24 Juin 2008 et se termine le 2 Octobre 2008. Elle couvre ainsi une période estivale marquée par l'occurrence d'épisodes violents le 7 Juillet 2008, les 12 et 13 Août 2008, puis le 6 Septembre où les valeurs enregistrées pour Hs sont supérieures à 2m. Ces tempêtes sont associées à des vents supérieurs à 20m/s, orientés Ouest. Les conditions d'agitation sont fortes sur l'ensemble du mois d'Août, avec des valeurs moyennes de Hs proches de 1.5m. Sur cette période, les vents sont majoritairement orientés Ouest, Sud-Ouest. Les périodes d'agitation modale sont courtes. Les plus longues s'étendent sur environ deux semaines, et concernent principalement le mois de Juillet et la fin du mois d'Août. D'une manière générale, sur l'ensemble de la période, les vents sont orientés Ouest, Sud-Ouest.

La comparaison des profils levés en début et fin de période sur la plage du Foego souligne une forte accrétion sur la moyenne plage et la basse plage, sur une épaisseur proche de 1m. Sur les plages de Kervest, secteur Etang de Tumiac et secteur Sud-Est, les variations des profils soulignent à l'inverse une forte érosion, fortement concentrée sur la haute et moyenne plage.

Sur la plage des Govelins, le haut de plage, au niveau des marées hautes de vives eaux, est légèrement érodé avec la disparition d'une berme présente en Juin 2008. Le reste du profil enregistre une accrétion sur une amplitude verticale de 0.50m, concernant la haute et moyenne plage. Ces évolutions suggèrent un transit sédimentaire des plages de Kervest vers celles du Foego et des Govelins, qui pourrait être contrôlé par des courants de dérive littorale divergents, provoqués par la réfraction en baie de Quiberon des fortes houles associées à des vents d'Ouest, Sud-Ouest sur la fin de la période, et renforcés par une mer de vent susceptible de se propager et d'être réfractée sur une zone de fetch supérieure à 5km.

### 1.2.6. Variations des profils au cours de la Période de Suivi Morphologique 5

La PSM 5 est comprise entre le 2 Octobre 2008 et le 27 Janvier 2009. Elle couvre une période hivernale marquée par deux sous périodes bien distinctes. La première correspond au mois de Novembre 2008 et au début du mois de Décembre 2008. La seconde période s'étend sur le mois de Janvier 2009.

Elles sont caractérisées par des conditions d'agitation forte (Hs proche de 2m), associées à des vents forts compris entre 15m/s et 20m/s, orientés majoritairement Sud-Ouest au début de la période hivernale et Ouest durant les tempêtes du mois de Janvier 2009.

Entre ces deux périodes, une période de beau temps caractérisée par des vents inférieurs à 10m/s orientés Nord-Est et des valeurs de Hs inférieures à 0.50m se met en place fin Décembre 2008 – début Janvier 2009.

Sur cette période, la plage du Foego enregistre une légère érosion sur la moyenne plage et une accrétion en haut de plage. Sur la plage de Kervest, secteur Etang de Tumiac le profil est fortement érodé sur des épaisseurs supérieures à 1m. A Kervest, secteur Sud-Est, le profil enregistre à l'inverse une forte accrétion sur des épaisseurs supérieures à 1.5m en haut de plage. La plage des Govelins enregistre une accrétion plus modérée (+ 0.50m) en haut de plage, et s'érode légèrement sur la moyenne plage.

Ces évolutions semblent indiquer l'existence d'un transit sédimentaire entre les plages situées au Nord-Ouest du cordon sableux et celles localisées au Sud-Est. Elles suggèrent ainsi que l'importance de la zone de fetch, combinée à des vents forts orientés Ouest, favorise la formation d'une mer de vent qui, réfractée à partir des isobathes -15m contribue à générer un courant de dérive littorale orientée Sud-Est. Les levées topographiques ont été effectuées moins de 10 jours après la fin de tempête du mois de Janvier 2009. Sur ce pas de temps, la plage de Kervest, secteur Sud-Est, capte une grande partie des sédiments mobilisés par les courants de dérive, alors que la présence des pointes rocheuses complexifie les rythmes de transports sédimentaires.

#### 1.2.7. Variations des profils au cours de la Période de Suivi Morphologique 7

La dernière PSM prend fin avec la levée des profils le 24 Juin 2009. Contrairement aux périodes précédentes, elle est marquée par des conditions d'agitation moins forte. A l'exception des vents violents enregistrés le 9 Juin 2009 (18m/s), les vitesses des vents sont comprises entre 10m/s et 5m/s. Les vents les moins forts sont orientés Nord-Est, et sont associés à des houles caractérisées par des valeurs de Hs inférieures à 1m et de Ts comprises entre 8s et 4s. Ces conditions de beau temps dominant sur la fin de la période, avant la levée des profils.

Sur la plage du Foego, le profil levé en Juin 2009 met en évidence la formation d'une berme en haut de plage, au niveau des marées hautes de vives eaux, traduisant l'occurrence de processus d'accumulation sédimentaire. Le profil reste gras en haut de plage. Il est érodé (-0.50m) sur la moyenne plage, notamment en dessous du niveau moyen des marées. A Kervest, secteur Etang de Tumiac, le profil enregistre une forte accrétion et retrouve quasiment le niveau du profil levé en Juin 2008. Une berme est également mise en place au niveau des marées hautes de vives eaux, en haut de plage.

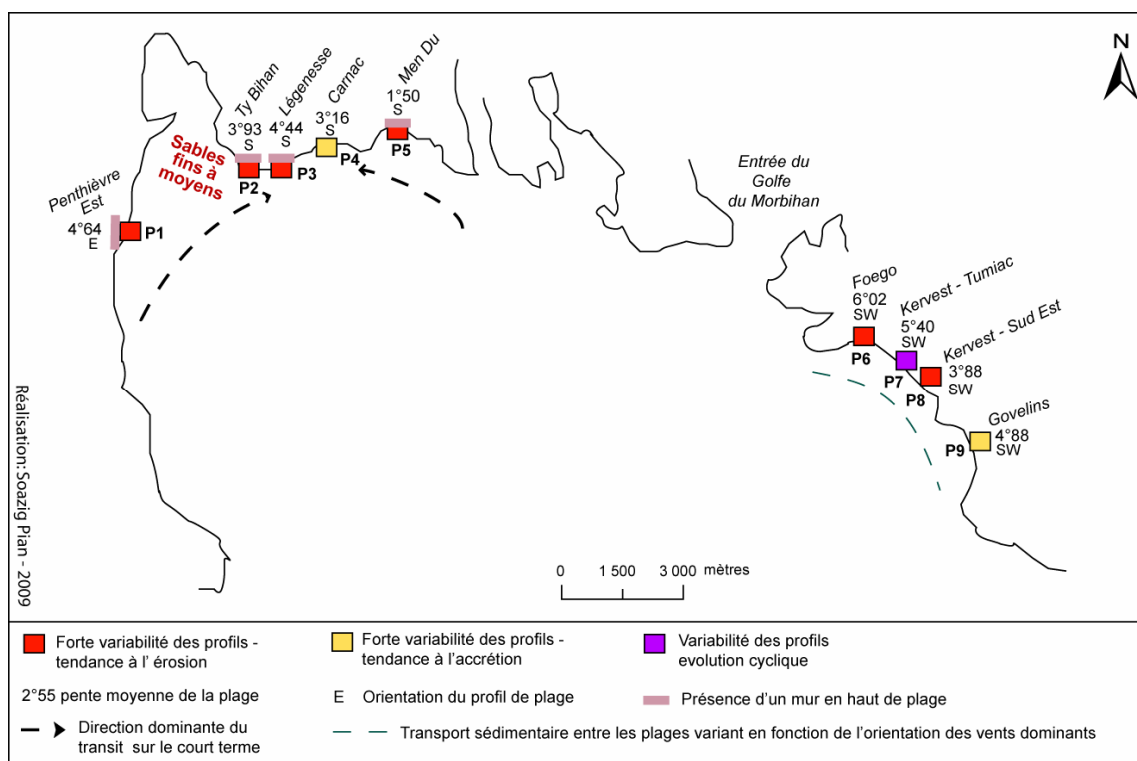
Sur ces deux plages, les variations des profils sont caractéristiques de celles observées en période de beau temps.

La circulation sédimentaire est en partie contrôlée par des mouvements *onshore* qui favorisent l'accumulation des sédiments sur le haut du profil ((Dubois, 1988 ; Hill et al., 2004). A Kervest Sud-Est, le profil est fortement érodé, notamment sur la moyenne plage où il s'affaisse sur une épaisseur d'environ 1m. Malgré cette forte érosion, on note la présence de formes d'accumulation sédimentaire sur le haut de plage, type bermes. La formation des ces bermes pourrait être mise en relation avec des schémas de circulation sédimentaire *onshore* en condition de beau temps (Larson et al., 1994, Lee et al., 1998) alors que l'érosion observée par rapport à la période précédente pourrait s'expliquer par une redistribution des sédiments accumulés après la tempête du 17 Janvier 2009 par les courants de dérive littorale.

### Synthèse :

L'analyse des variations des profils de plage de la baie de Quiberon entre Février 2008 et Juin 2009 laisse suggérer que l'évolution des plages, sur cette période, est étroitement dépendante des courants de dérive littorale mis en place lors des périodes de forte agitation. Ces courants de dérive résultent de la réfraction des houles qui pénètrent la baie par la passe de la Teignouse, mais également de l'importance de la zone de fetch qui permet la formation d'une mer de vent susceptible de se propager sur des distances supérieures à plusieurs kilomètres et de générer des courants *alongshore*. L'importance du contrôle exercé par la forte extension spatiale de la zone de fetch sur l'évolution des cordons sableux de la baie de Quiberon a été discutée par Jussy et Guilcher (1962). Entre la côte de Penthievre et de Carnac, la zone de fetch s'étend sur plus de 6 kilomètres. Vers le large, elle excède 20 kilomètres et s'étend sur des profondeurs comprises entre -5m et -20m, avec une valeur moyenne de -15m.

Entre Février 2008 et Mai 2009, les variations des profils de plage témoignent d'un engraissement du profil de la plage de Carnac et de l'érosion des profils des plages de Penthievre, Ty Bihan, Légenesse et du Men Du (Carte III.5). Le tableau III.X synthétise les caractéristiques des vents prévalant lors de chaque période de suivi morphologique. Les PSM 1, PSM 2 et PSM 3 concernent les plages situées à l'Est et au centre de la baie. Les vents dominants sont orientés Sud-Ouest et Nord-Ouest lors de la PSM1, et, Nord-Ouest et Nord-Est pour les deux autres périodes de suivi morphologique.



*Carte III.5 : Synthèse du comportement des profils des plages en Baie de Quiberon entre Février 2008 et Juin 2009*

Sur le court terme, l'occurrence de ces vents favorise la mise en place de courants de dérive littorale générant un transport sédimentaire vers le centre de la baie, au niveau de la plage de Carnac. De plus, contrairement à la plage de Carnac, les quatre autres plages étudiées sont adossées à un mur de défense contre la mer (Carte III.5). Parmi ces plages, seule la plage de Ty Bihan enregistre une variabilité accrue du profil (Figure III.6). Au cours de la PSM 2, l'érosion accrue de la partie supérieure du profil de Penthièvre a été mise en relation avec la présence d'un mur de protection en haut de plage.

Entre Juin 2008 et Juin 2009, l'évolution des plages situées au Sud-Est de l'entrée du Golfe du Morbihan paraît également étroitement liée à l'importance de la zone de fetch en baie de Quiberon qui permet la mise en place de courants de dérive littorale, fortement dépendants de l'orientation des vents les plus forts. Les vents de secteur Sud-Ouest favorisent des courants de dérive divergents des plages de Kervest vers le Nord-Est et le Sud-Est du cordon sableux. Les vents orientés Ouest favorisent une circulation sédimentaire orientée Sud-Est, de la plage du Foego vers la plage des Gouvelins. Au cours de la PSM 4 et de la PSM 5, les vents de secteur Sud-Ouest correspondent aux vents les plus fréquents et sont associés à des vitesses supérieures à 10m/s. Les vents de secteur Ouest sont moins fréquents mais enregistrent, au cours de la PSM5, les vitesses les plus élevées, supérieures à 14m/s (Tableau III.9).

	PSM1		PSM2		PSM3	
	Fréquence des directions du vent	Vitesse moyenne des vents (m/s)	Fréquence des directions du vent	Vitesse moyenne des vents (m/s)	Fréquence des directions du vent	Vitesse moyenne des vents (m/s)
N	0.00%	0.00	1.22%	9.03	0.86%	5.70
NE	17.39%	10.65	27.44%	9.54	30.17%	10.55
E	2.17%	9.60	1.22%	9.82	1.72%	8.60
SE	17.39%	8.89	12.50%	10.28	8.62%	8.73
S	0.00%	0.00	1.22%	10.25	0.00%	0.00
SW	30.43%	11.74	25.30%	11.07	15.52%	7.97
W	0.00%	0.00	6.40%	10.34	4.31%	9.10
NW	32.61%	12.55	24.70%	10.38	38.79%	8.82
Total	100.00%				100.00%	
	PSM4		PSM5		PSM6	
	Fréquence des directions du vent	Vitesse moyenne des vents (m/s)	Fréquence des directions du vent	Vitesse moyenne des vents (m/s)	Fréquence des directions du vent	Vitesse moyenne des vents (m/s)
N	0.00%	0.00	1.71%	11.35	0.70%	5.70
NE	22.77%	9.22	28.21%	10.57	30.99%	10.57
E	0.99%	9.80	0.00%	0.00	2.82%	0.00
SE	4.95%	9.54	17.09%	11.09	9.86%	9.39
S	0.99%	8.80	0.00%	0.00	1.41%	12.70
SW	28.71%	10.39	27.35%	11.58	16.20%	8.96
W	11.88%	9.39	4.27%	14.42	4.23%	9.42
NW	29.70%	9.43	21.37%	10.75	33.80%	9.05
Total	100.00%		100.00%		100.00%	

Tableau III.9 : Direction et vitesse moyenne des vents prévalant au cours de chaque période de suivi morphologique en Baie de Quiberon

Sur le dernier pas de temps étudié (PSM 6), entre Janvier 2009 et Juin 2009, les vents les plus fréquents sont orientés Nord-Est et Nord-Ouest. Les vitesses de vents les plus élevées, supérieures à 12m/s en moyenne, sont associées à des vents de secteur Sud.

Par ailleurs, ces schémas de transport sont également influencés par l'occurrence de transports *crossshore*, alternativement orientés vers la côte ou le large, en période de beau ou de mauvais temps. Enfin, la proximité de ces plages par rapport à l'entrée du Golfe du Morbihan laisse supposer une influence des courants de marée, fortement accélérés par l'étroitesse de la passe de Port Navalo. Toutefois, ce dernier point n'a pu être analysé dans le cadre de ce travail et nécessiterait le déploiement d'instruments de mesure *in situ* pour mesurer les variations des conditions hydrodynamiques lors de différents cycles tidaux.

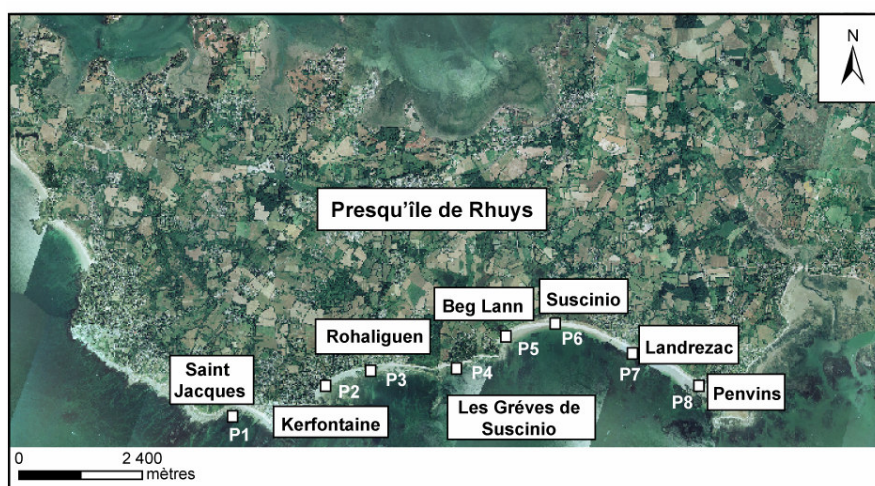
A partir de ces différentes analyses, l'évolution des profils des plages en Baie de Quiberon paraît fortement dépendante de l'importance de la zone de fetch qui rend les plages sensibles aux variations des vents les plus forts. Les variations saisonnières des conditions d'agitation au large et à la côte contribuent également à expliquer l'évolution des profils, situés notamment au Sud-Est de la baie. L'effet des structures anthropiques tel que les murs est plus difficile à déterminer. Contrairement à ce qui est observé sur les plages du massif dunaire, la présence d'un mur en haut de plage n'implique pas systématiquement une variabilité accrue du profil. Toutefois, toutes les plages adossées à un mur de défense contre la mer enregistrent une érosion du profil.



Cependant, cette érosion est en partie expliquée par les processus de transports sédimentaires opérant dans la baie et peut difficilement être imputée à la seule présence du mur.

### I.3. Variations des profils des plages de la Presqu'île de Rhuys

Entre Février 2008 et Mars 2009, 31 profils de plages ont été levés sur 8 plages situées en Presqu'île de Rhuys (Carte III.6). Les quatre premiers profils (P1 – P4) ont été levés sur des plages, isolées les unes des autres par des pointes rocheuses, prolongées vers le large par des platiers affleurants et des zones de roches (Carte I.11b). Les quatre profils suivants (P5 – P8) ont été levés dans l'anse de Susicinio.



Carte III.6: Localisation des profils de plages levés dans la presqu'île de Rhuys

Les formes des profils sont très contrastées d'une plage à l'autre. A Saint-Jacques, sur les Grèves de Susicinio, à Susicinio et Landrezac, l'estran a une pente forte, de respectivement 4°19, 5°88, 6°10 et 5°04 en moyenne (Tableau III.10).

	tan $\beta$ - Pente de la plage en degré				
	Février 2008	Mai 2008	Octobre 2008	Mars 2009	moyenne
Plage Saint Jacques	4.94	4.00	2.92	4.90	<b>4.19</b>
Plage de Kerfontaine	1.74	1.48	1.55	1.69	<b>1.62</b>
Plage du Rohaliguen	2.52	3.49	2.59	2.73	<b>2.83</b>
Plage des Grèves de Susicinio	7.19	6.24	5.68	4.40	<b>5.88</b>
Plage de Beg Lann	4.09	7.72	4.37	2.29	<b>4.62</b>
Plage de Susicinio	6.19	7.39	5.39	5.44	<b>6.10</b>
Plage de Landrezac	3.69	7.18	5.33	3.94	<b>5.04</b>
Plage de Penvins	1.75	3.21	2.67	1.99	<b>2.41</b>

Tableau III.10 : Valeurs des pentes des plages étudiées sur la Presqu'île de Rhuys

A Saint Jacques et sur les Grèves de Suscinio, des platiers rocheux affleurant à marée basse sont présents en bas de plage (Photo III.5). L'estran sableux ne s'étend pas au-delà de 100m. Les plages de Kerfontaine, du Rohaliguen et de Penvins présentent des pentes moins fortes, comprises en moyenne entre  $1^{\circ}62$  et  $2^{\circ}84$ , et s'étendent sur une largeur d'estran proche de 200 m. Localement des platiers affleurants sont également présents sur la basse plage (Photo III.6). La plage de Beg Lann occupe une situation intermédiaire avec une pente moyenne de  $4^{\circ}62$ , s'étendant sur environ 140m.

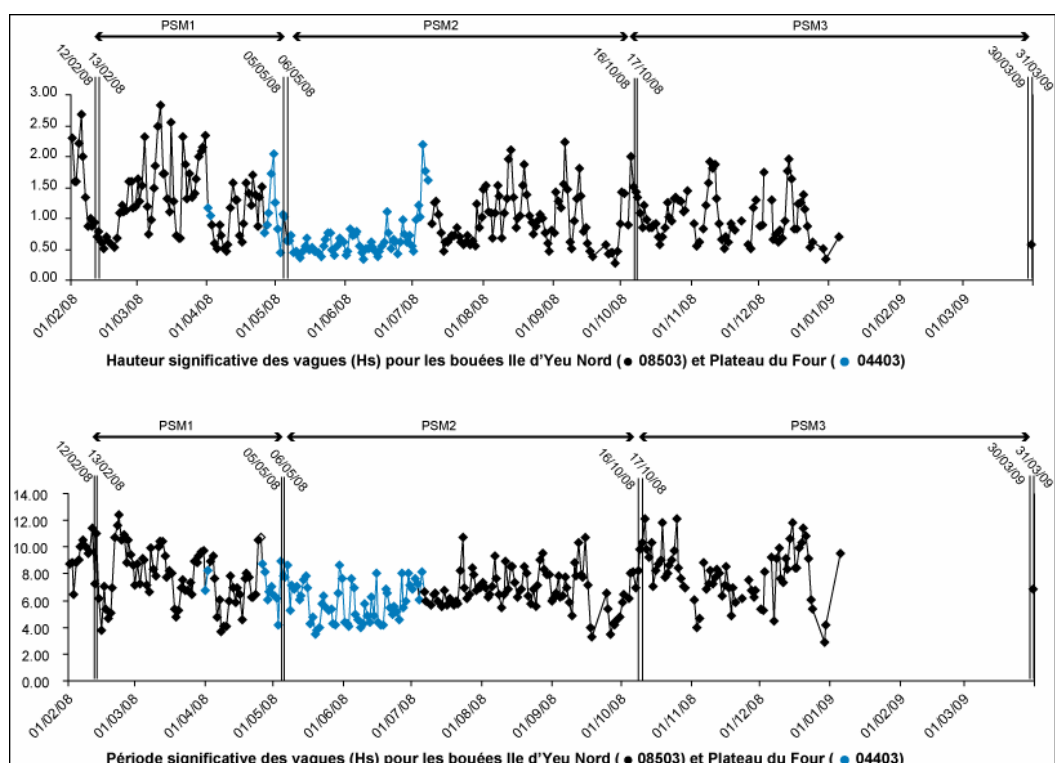


*Photo III.5 : La plage des Grèves de Suscinio à marée basse (Avril 2010)*

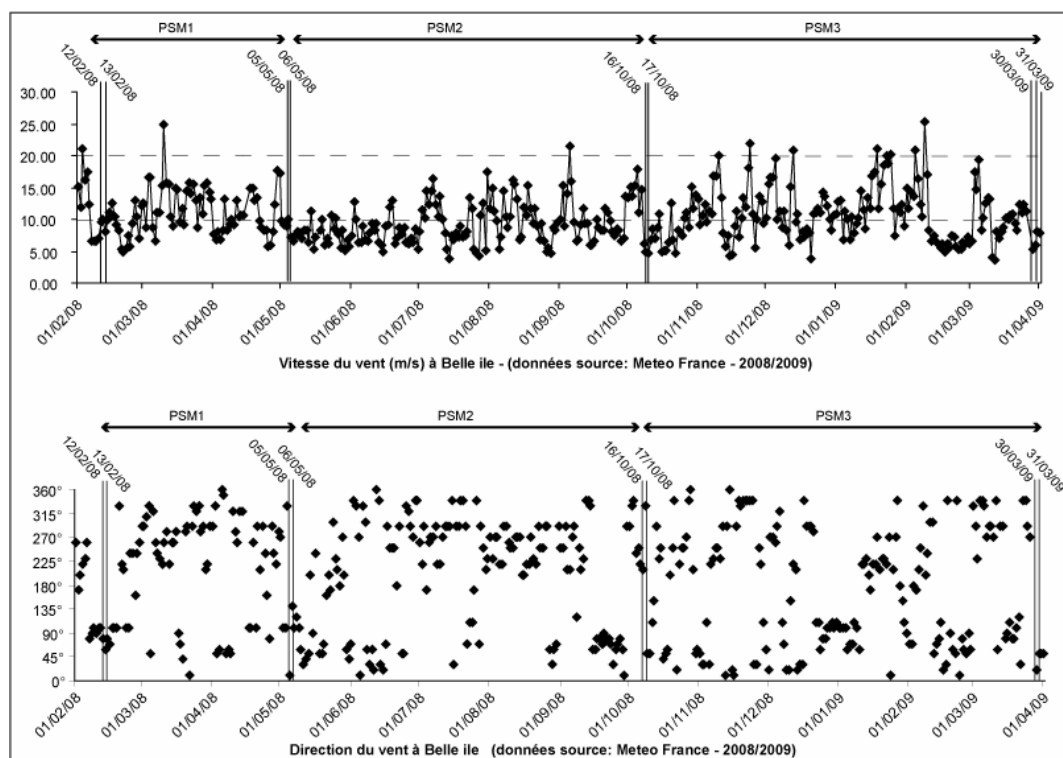


*Photo III.6 : La plage du Rohaliguen à marée basse (Avril 2010)*

Les graphiques III.5 et III.6 représentent les conditions d'agitation prévalant entre deux profils levés entre Février 2008 et Mars 2009. Quasiment l'ensemble des profils a été levé après l'occurrence d'un événement extrême, marqué par des hauteurs significatives de houle, au large, supérieures à 2 m (Graphique III.5) associées à des vitesses de vents comprises entre 15m/s et 20m/s (Graphique III.6). Les évolutions décrites par ces profils ont été façonnées par des conditions d'agitation fortement énergiques. Seuls les profils levés en Mars 2009 correspondent à une période marquée par des conditions plus calmes, caractérisées par des vitesses de vents inférieures à 12m/s (Graphique III.6).



Graphique III.5 : Variations des caractéristiques des houles au sein des périodes de suivi morphologique mises en place sur les plages de la presqu'île de Rhuy



Graphique III.6: Variations des caractéristiques des vents au sein des périodes de suivi morphologique mises en place sur les plages de la presqu'île de Rhuy

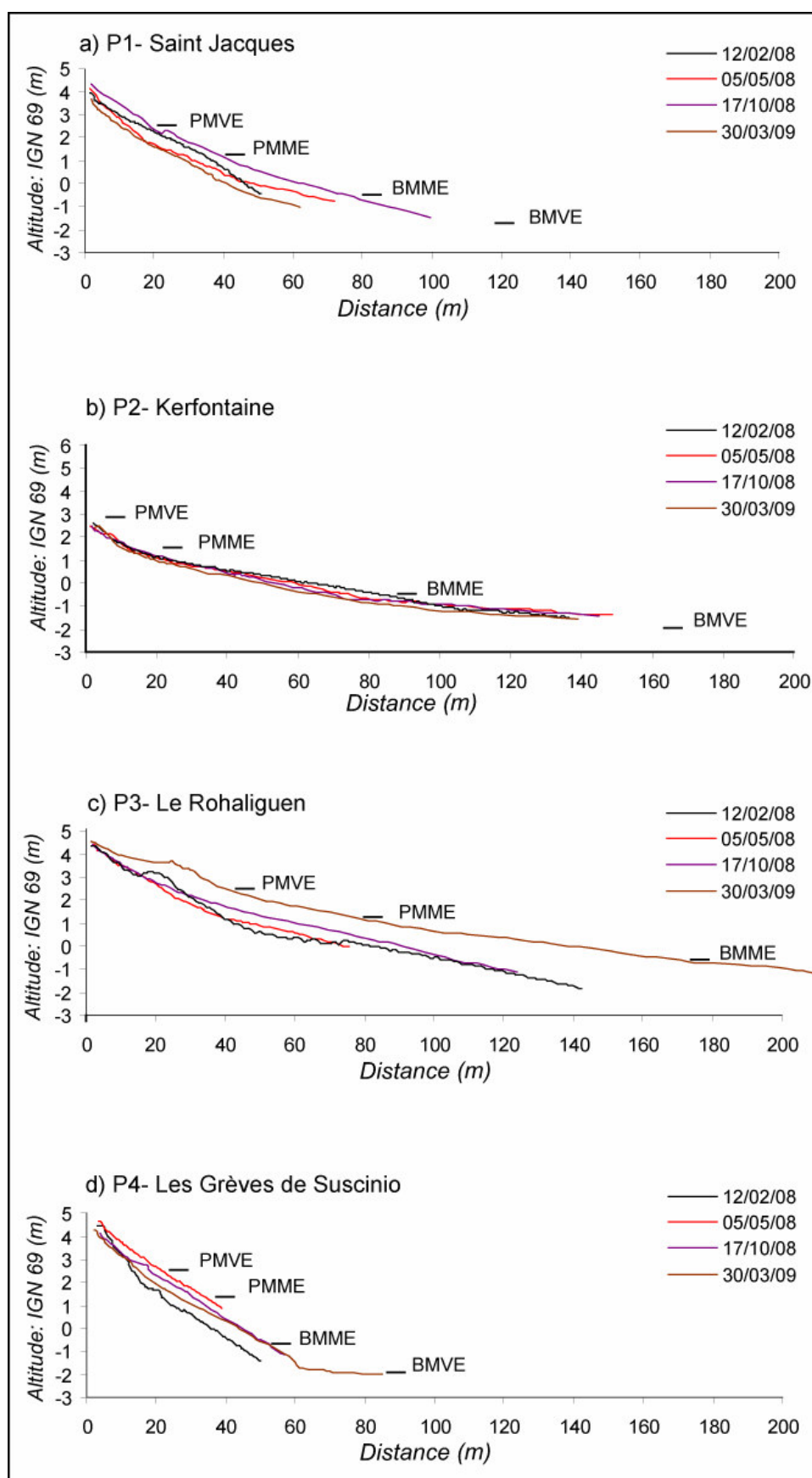


Figure III.7 : Variations des profils de plage levés au sein de la Presqu'île de Rhuy

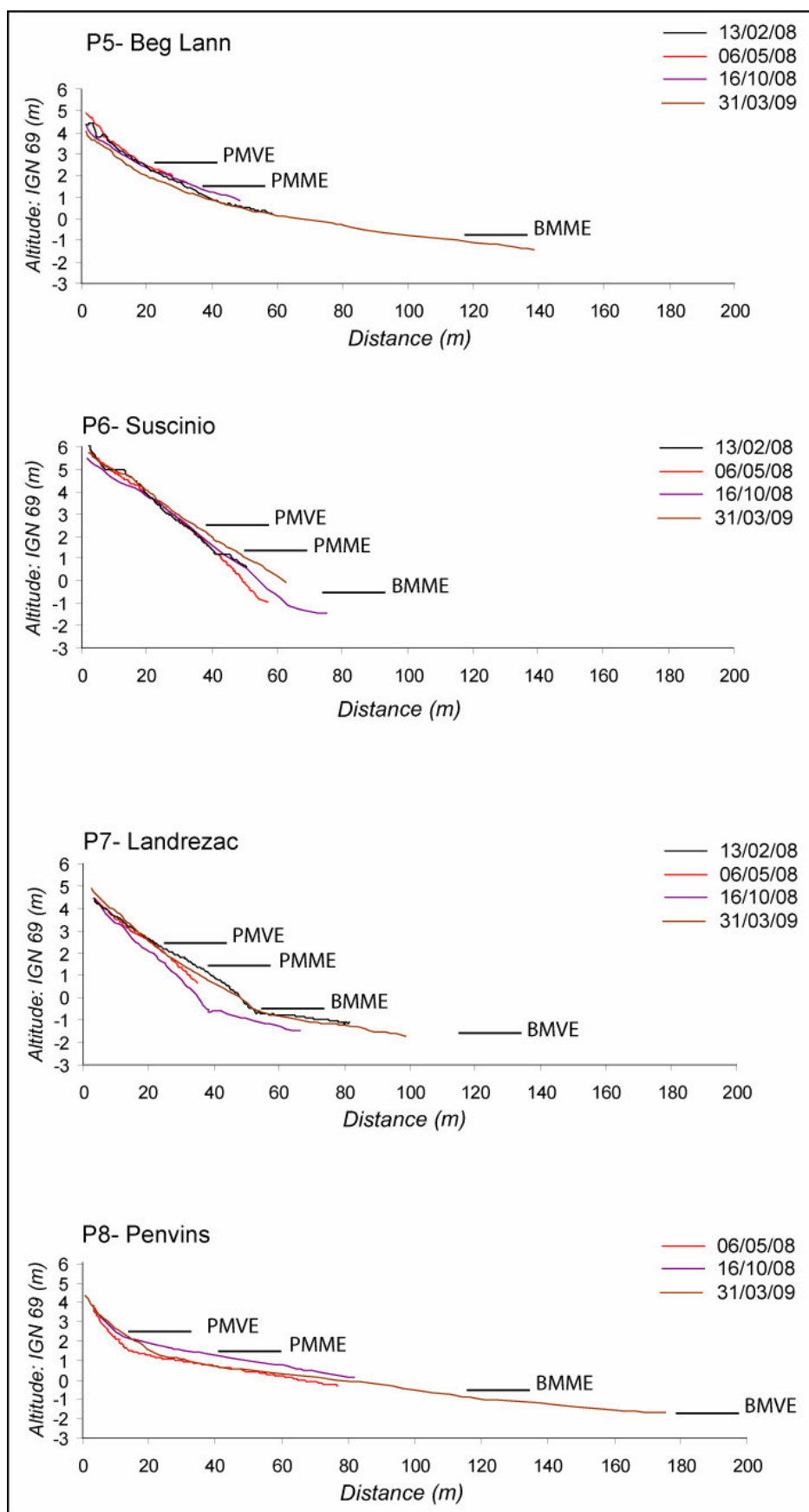


Figure III.7 : Variations des profils de plage levés au sein de la Presqu'île de Rhuys



### 1.3.1. Evolution générale des plages

La figure III.7 synthétise les variations des profils enregistrées pour ces plages entre Février 2008 et Mars 2009. La plage de Saint Jacques (Figure III.7a) est orientée Sud-Ouest. Elle est adossée à un mur de défense contre la mer. L'enveloppe maximale des variations verticales enregistrées par le profil atteint quasiment 1 m. Ces variations sont localisées sur la haute et moyenne plage. Sur l'ensemble de la période concernée par le suivi morphologique de la plage, les variations des profils décrivent une évolution cyclique, dominée par des processus érosifs. La plage de Kerfontaine (Figure III.7b) est orientée Sud-Ouest. Entre Février 2008 et Mars 2009, la plage apparaît relativement stable avec une amplitude maximale des variations des profils inférieure à 1m, en milieu de plage.

Les plages du Rohaliguen (Figure III.7c) et des Grèves de Susicinio (Figure III.7d) sont orientées Sud et enregistrent des variations de profil nettement plus importantes. Au Rohaliguen, l'enveloppe maximale des variations verticales du profil est supérieure à 2m sur la moyenne plage, située dans la zone de déferlement. Ces variations s'inscrivent dans une évolution cyclique, marquée par une alternance de séquences d'accrétion et d'érosion, où les processus d'accrétion dominent. Sur la plage des Grèves de Susicinio, les variations les plus importantes du profil se situent sur la haute et moyenne plage où l'enveloppe maximale des variations verticales est supérieure à 1m. Sur le pas de temps étudié, l'ensemble de ces variations favorise l'amaigrissement de la plage.

Dans l'anse de Susicinio, la plage de Beg Lann (Figure III.7d), orientée Sud-Est tend, à dégraisser entre Février 2008 et Mars 2009. L'enveloppe maximale des variations du profil est inférieure à 1m. Ces variations sont situées en haut et milieu de plage. La plage de Beg Lann tend à s'éroder sur la période étudiée. Les plages de Susicinio (Figure III.7e), orientée Sud, de Landrezac (Figure III.7f) et Penvins (Figure III.7g), orientées Sud-Ouest, tendent à s'engraisser sur la période étudiée. Sur la plage de Susicinio, l'enveloppe maximale des variations des profils atteint 1.5m sur la moyenne plage. Les variations les plus importantes des profils sont observées sur la plage de Landrezac où l'amplitude maximale des mouvements verticaux est proche de 2m en milieu de plage. Sur ce site, l'engrassissement de la plage s'inscrit dans une alternance de séquences d'érosion et d'accrétion. Sur la plage de Penvins, l'enveloppe maximale des variations verticales des profils est inférieure à 1m. Les variations les plus importantes sont situées sur la haute plage. Sur ce site, la plage est adossée à un mur de défense contre la mer.

### 1.3.2. Variations des profils au cours de la Période de Suivi Morphologique 1

La PSM 1 débute avec les profils levés le 12 Février 2008 et s'achève le 6 Mai 2008. La fin du mois de Février est marquée par une courte période de beau temps.

Les mois de Mars 2008 et Avril 2008 sont caractérisés par des conditions d'agitation forte associée à des vents compris entre 10m/s et 15m/s, majoritairement orientés Nord, Nord-Ouest (Graphique III.6). Les valeurs moyennes de Hs sont proches de 1.5m et excèdent 2m une dizaine de fois, principalement durant la période hivernale (Graphique III.5). Durant la première semaine du mois d'Avril, elles sont toutefois inférieures à 1m. La tempête du 10 Mars 2008, évoquée précédemment, est associée à des vents forts, 25m/s, orientés Sud-Ouest. Le mois d'Avril 2008 est caractérisé par des conditions d'agitation forte à modérée. Fin Avril, des vents forts, 18m/s, orientés Sud-Est, génèrent une houle caractérisée par des valeurs de Hs supérieures à 2m pour une période d'environ 8s.

Sur ce pas de temps, les plages de Saint-Jacques, de Kerfontaine et du Rohaliguen sont caractérisées par une érosion du profil, notamment en haut et milieu de plage. Sur la plage du Rohaliguen, cette érosion est également associée en haut de plage à la disparition d'une berme.

L'amaigrissement de ces plages peut être mis en relation avec les conditions d'agitation forte qui prévalent durant la période hivernale et favorisent un transport sédimentaire *offshore* (Dubois, 1988, Hill *et al.*, 2004). A l'inverse, la plage des Grèves de Susicinio est caractérisée par un engraissement du profil de plage sur cette période. Cette accrétion pourrait résulter d'un transport sédimentaire orienté globalement Sud-Est, le long de la Presqu'île de Rhuys. En effet, la zone de fetch s'étend sur plusieurs dizaines de kilomètres, sur des profondeurs moyennes de -15m, et les vents dominants de secteur Nord, Nord-Ouest sont susceptibles de générer une houle sur l'ensemble du secteur orienté Nord-Ouest. La réfraction des houles de secteur Ouest, Nord-Ouest peut générer des courants de dérive orientés vers l'Est, Sud-Est. Cette hypothèse est cohérente avec l'érosion observée sur les plages de Saint-Jacques et de Kerfontaine. Toutefois, la présence de nombreux platiers rocheux entre les plages de Saint-Jacques et du Rohaliguen rend difficile l'identification d'un transport sédimentaire parallèle au trait de côte à partir des seules données des variations des profils de plage. En effet, l'identification des schémas de transports sédimentaires entre des plages de poches isolées les unes des autres par des promontoires rocheux, prolongés vers la mer par des hauts fonds et des zones de roche, nécessite une compréhension fine des relations entre les caractéristiques bathymétriques du site, sa morphologie et la distribution spatiale des sources sédimentaires (Storlazzi *et Field*, 2000).

Dans l'anse de Susicinio, les plages de Beg Lann et de Susicinio restent relativement stables sur ce pas de temps. A l'inverse, la plage de Landrezac enregistre une érosion du profil, sur une épaisseur d'environ 0.50m, sur la moyenne plage. Le profil levé à Penvins en Mai 2008 est le plus amaigri des profils levés sur cette plage. La relative continuité du trait de côte entre ces plages laisse supposer que les variations des profils peuvent être mises en relation avec les courants de dérive littorale générés par les fortes houles (Hs proche de 2m) précédant de quelques jours la levée des profils. Ces houles sont associées à des vents forts (18m/s) de secteur Sud-Est.

Leur réfraction, ainsi que la propagation de la mer de vent générée par ces vents, sont susceptibles de produire des courants parallèles au trait de côte, orientés vers l'Ouest, Nord-Ouest, et alimentant en sédiments les plages de Beg Lann, Landrezac et Susicinio.

### 1.3.3. Variations des profils au cours de la Période de Suivi Morphologique 2

La PSM 2 s'étend du 5 Mai 2008 jusqu'au 17 Octobre 2008. Les mois de Mai 2008 et Juin 2008 sont caractérisés par des conditions d'agitation faible. Les vitesses des vents, orientés Nord, Nord-Est, sont comprises entre 10m/s et 5m/s. Les valeurs de Hs sont proches en moyenne de 0.50m. A partir du mois de Juillet 2008, deux périodes de beau temps, fin Juillet et fin Août, alternent avec des périodes marquées par des conditions d'agitation plus forte. Durant ces épisodes, la vitesse des vents, majoritairement orientés Ouest, Sud-Ouest, est comprise entre 10m/s et 15m/s, les valeurs de Hs sont comprises entre 1m et 2m. Quelques jours avant la levée des profils, des vents supérieurs à 20m/s génèrent une houle caractérisée par des valeurs de Hs supérieures à 2m. Ces vents sont orientés Sud.

Les plages de Saint Jacques, du Rohaliguen et des Grèves de Susicinio sont caractérisées sur ce pas de temps par une forte accrétion du profil, sur environ 1m d'épaisseur à Saint Jacques, et 0.50m au Rohaliguen et sur les Grèves de Susicinio. A Saint Jacques et sur les Grèves de Susicinio, ces processus d'accrétion sont associés à la formation d'une berme en haut de plage. La plage de Kerfontaine reste relativement stable. Ces processus d'accrétion semblent indiquer l'occurrence de transports sédimentaires *onshore* favorisant l'engraissement des profils. Ce type de schéma de transport sédimentaire pourrait être mis en relation avec les conditions de beau temps qui prévalent en début de période. Les profils gras, bien alimentés, et protégés par les platiers rocheux, enregistrent peu les effets des premières tempêtes de l'automne 2008.

Dans l'anse de Susicinio, les plages de Beg Lann et de Penvins restent relativement stables. A Susicinio, le profil enregistre une forte accrétion, notamment au niveau de la moyenne plage, sur une épaisseur proche de 1m. A l'inverse, à Landrezac, le profil est érodé sur une épaisseur de 1m en milieu de plage. Ces profils ont été levés une semaine après l'occurrence d'une forte tempête associée à des vents supérieurs à 20m/s, orientés Sud et à une houle caractérisée par des valeurs de Hs supérieures à 2m et de Ts égales à 8s.

Réfractée sur les petits fonds, la houle orientée Sud, combinée à la propagation de la mer de vent, est susceptible de générer des courants de dérive littorale divergents au sein de l'anse de Susicinio, favorisant l'érosion de la plage de Landrezac et l'accrétion de la plage de Susicinio.



### 1.3.4. Variations des profils au cours de la Période de Suivi Morphologique 3

La PSM 3 s'étend sur plusieurs mois, entre Octobre 2008 et le 31 Mars 2009. Elle est essentiellement caractérisée par des conditions d'agitation hivernales, marquées par des vents forts à modérés et l'occurrence de plusieurs tempêtes. Sur la fin de la période, les données concernant les caractéristiques des houles sont manquantes. Entre Octobre 2008 et mi-Décembre 2008, les vents forts à modérés sont majoritairement orientés Ouest, Nord-Ouest. Ils sont associés à une houle au large caractérisée par des valeurs de Hs comprises entre 1m et 1.5m, excepté lors des épisodes de tempête où Hs excède 2m. Entre mi-Janvier 2009 et mi-Février 2009, les périodes les plus agitées sont dominées par des vents orientés Sud-Ouest. Entre ces deux périodes, les mois de Janvier 2009 et fin Février 2009 sont caractérisés par des conditions d'agitation modales, dominées par des vents orientés Nord, Nord-Est. La fin de la période est caractérisée par une alternance de conditions d'agitation forte et modale, et une tempête en Mars 2009, associée à des vents de Sud-Ouest.

Les variations verticales les plus importantes des profils sont enregistrées sur ce pas de temps. Les plages de Saint-Jacques, Kerfontaine et les Grèves de Suscinio enregistrent une érosion du profil, notamment sur la moyenne plage. Sur les plages de Saint-Jacques et des Grèves de Suscinio, l'affaissement du profil s'effectue sur une épaisseur proche de 1m. Cette forte érosion des profils de plage peut être mise en relation avec les conditions d'agitation forte qui prévalent durant l'hiver 2009 et favorisent les transports sédimentaires *offshore*. La plage du Rohaliguen enregistre, à l'inverse, une accrétion du profil sur ce pas de temps.

Dans l'anse de Suscinio, seule la plage de Beg Lann enregistre une érosion du profil, sur une épaisseur proche de 0.50m. Les plages de Suscinio, de Landrezac et de Penvins sont caractérisées par une accrétion du profil de plage, sur des épaisseurs respectivement proches de 0.50m, 1m et 0.50m. Ces évolutions suggèrent l'existence d'un transit sédimentaire orienté Sud-Est, généré par les houles orientées Ouest, Sud-Ouest, prévalant lors des épisodes de tempête précédant la campagne de mesure. Dans ces conditions, l'érosion de la plage de Beg Lann contribue ainsi à alimenter les plages de Suscinio, Landrezac et Penvins. Entre ces trois plages, le transit sédimentaire s'opère sous forme de relais : les sédiments *by pass* d'une plage à l'autre à des rythmes différents, ce qui explique ainsi les apports plus conséquents enregistrés sur la plage de Landrezac.

## Synthèse

Les variations des profils P1 à P4, correspondant aux plages situées à l'Ouest de la pointe de Beg Lann, s'expliquent en partie par les variations saisonnières des conditions d'agitation hydrodynamique. La prédominance de conditions d'agitation modale dans les périodes précédant la levée des profils favorise l'engraissement de l'estran et la formation de bermes en haut de plage, notamment à Saint-Jacques ou sur les Grèves de Suscinio en Octobre 2008. A l'inverse, les profils levés à la suite de conditions d'agitation forte et après l'occurrence d'épisodes violents, associés à des vitesses de vents supérieures à 20m/s et des hauteurs significatives de houle supérieures à 2m, témoignent d'une érosion de l'estran, pouvant être mise en relation avec des mouvements de sédiments *offshore*.

Les variations des profils sur ces plages s'expliquent ainsi relativement bien par l'occurrence des différents types de transports *crossshore* décrits dans la littérature et associés aux variations des conditions hydrodynamiques (Dubois, 1988, Hill et al., 2004). Toutefois, une partie des évolutions remarquées ne s'explique pas par ces schémas de transports et suppose l'existence d'un transport parallèle au trait de côte entre ces plages, par *by passing*. Pour être vérifiée, cette hypothèse nécessiterait d'être analysée plus en détails à partir d'un suivi topographique de la plage et de la plage sous-marine à plus haute fréquence. En effet, sur ces types de plages, encastrées entre des pointes rocheuses, les processus de transports *alongshore* s'effectuent par *by passing* et sont largement complexifiés par les contraintes morphologiques des sites (Storlazzi et Fiedl, 2000). Ils s'effectuent en deux temps : un transport *crossshore*, orienté vers le large, est nécessaire pour faciliter le franchissement des obstacles morphologiques, puis les sédiments sont remobilisés par les courants de dérive littorale (Storlazzi et Field, 2000).

Sur les plages de l'anse de Suscinio, l'impact des variations saisonnières des régimes de houle et l'occurrence de transports *crossshore* sur les variations des profils levés sont moins évidents. En effet, de fortes érosions sont parfois observées dans les périodes de suivi morphologique dominées par des conditions d'agitation modale, telle à Landrezac en Octobre 2008. Sur ces plages, l'évolution des profils semble être davantage contrôlée par les variations de l'orientation des vents les plus forts, qui, combinées à l'importance de la zone de fetch, favorisent la formation de courants de dérive littorale dont l'orientation diffère d'une période à l'autre. L'importance de la zone de fetch permet en effet la propagation de la mer levée par le vent sur plusieurs dizaines de kilomètres. La propagation et la réfraction de cette houle locale sont fortement contraintes par la bathymétrie du site et la distribution spatiale des zones de roches. Les vents orientés Sud-Est favorisent un transport sédimentaire orienté vers l'Ouest, Nord-Ouest. Les vents de Sud génèrent une houle permettant la mise en place de courants de dérive littorale divergents du centre de l'anse de Suscinio, vers l'Ouest et l'Est.

Les vents de secteur Ouest, Sud-Ouest favorisent un transport sédimentaire orienté Sud-Est. L'évolution des plages, sur une échelle annuelle, paraît ainsi étroitement liée à des processus d'inversion de dérive littorale, tels qu'ils ont pu être observés par Masselink et Pattiaratchi (2001) sur la côte Ouest Australienne. Toutefois, sur la côte de la Presqu'île de Rhuy ces inversions de dérive littorale ne sont pas dominées par des rythmes saisonniers réguliers et peuvent varier sur des échelles de temps plus courtes en fonction de la fréquence et de l'orientation des vents associés aux événements les plus énergiques.

	PSM1		PSM2		PSM3		TOTAL	
	Fréquence des directions du vent	Vitesse moyenne des vents	Fréquence des directions du vent	Vitesse moyenne des vents	Fréquence des directions du vent	Vitesse moyenne des vents	Fréquence des directions du vent	Vitesse moyenne des vents
N	0.92%	8.40	0.76%	5.00	1.20%	9.47	1.01%	8.36
NE	22.94%	9.27	21.21%	8.52	31.08%	10.20	27.47%	9.75
E	1.83%	8.90	0.76%	8.20	1.99%	9.14	1.62%	9.16
SE	16.51%	8.86	8.33%	8.65	12.75%	10.42	11.92%	9.83
S	0.92%	6.80	1.52%	7.80	0.80%	12.70	1.01%	10.25
SW	25.69%	10.87	28.79%	9.82	20.32%	10.71	23.23%	10.48
W	1.83%	7.30	10.61%	8.94	4.38%	11.69	5.25%	10.10
NW	29.36%	11.13	28.03%	9.09	27.49%	9.38	28.48%	9.85
Total	100.00%		100.00%		100.00%		100.00%	

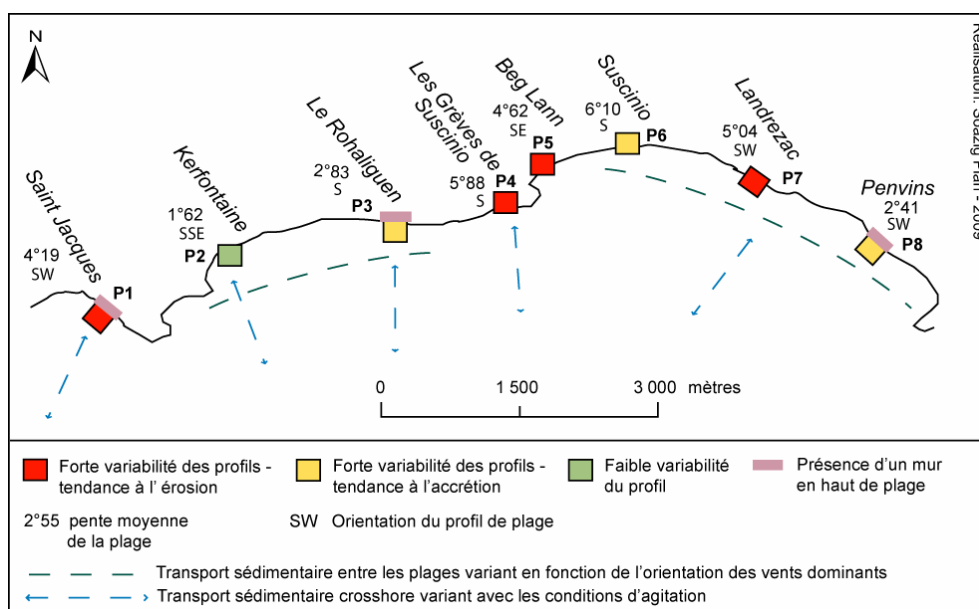
Tableau III.11 : Caractéristiques des vents lors de chaque PSM en Presqu'île de Rhuy

Le tableau III.11 présente la fréquence des vents suivant leur orientation lors de chaque période de suivi morphologique ainsi que les vitesses moyennes associées à chaque direction, pour chaque période. Entre Février 2008 et Mars 2009, les vents les plus fréquents sont orientés Nord-Ouest et Nord-Est. Les vents de secteur Sud-Ouest représentent plus de 23% des enregistrements et sont caractérisés par les vitesses moyennes les plus importantes, supérieures à 10m/s. Au cours des périodes de suivi morphologique 1 et 2, ces vents comptent parmi les plus fréquents et enregistrent des vitesses moyennes respectivement supérieures à 10m/s et 9m/s. Sur la dernière période de suivi morphologique, les vents associés aux vitesses moyennes les plus fortes sont orientés Sud (> 12m/s) et Ouest (> 11m/s). Les vents provenant d'un large quart Ouest/Sud-Ouest favorisent les transports sédimentaires vers le Sud-Est de l'anse de Susicinio. Sur l'ensemble de la période, les conditions météorologiques semblent avoir favorisé un transport sédimentaire orienté vers l'anse de Susicinio. Sur cette période, les plages du Rohaliguen, Susicinio et Penvins s'engraissent alors que les profils des plages de Saint-Jacques, des Grèves de Susicinio, de Beg Lann et de Landrezac sont érodés (Carte III.7). Ces données suggèrent l'existence d'un transport sédimentaire *alongshore* entre ces plages, fonctionnant par *by passing*, et perturbé par la présence de pointes rocheuses, de platiers affleurants en basse plage et de zones de roches dans les petits fonds.

Enfin, trois profils ont été levés sur des plages adossées à un mur de défense contre la mer : les plages de Saint Jacques, du Rohaliguen et de Penvins (Carte III.7). Sur ces trois plages, la variabilité des profils est importante sur la haute et moyenne plage.

Sur l'ensemble de la période étudiée, les variations verticales des profils s'effectuent sur une épaisseur supérieure à 1m sur la plage de Saint Jacques et sur une épaisseur supérieure à 2 m sur la plage du Rohaliguen. Cette variabilité traduit aussi bien une érosion du profil sur la période étudiée, tel à Saint Jacques, qu'un engraissement du profil au Rohaliguen et à Penvins. Ainsi, l'évolution, sur le court terme, des plages de la Presqu'île de Rhuy s paraît contrôlée par trois facteurs principaux :

- Les variations des conditions météorologiques et hydrographiques qui favorisent une alternance de transports *onshore – offshore*,
- L'importance de la zone de fetch qui permet la mise en place de courants de dérive littorale, fortement dépendants de l'orientation des vents dominants,
- La complexité de la morphologie du site et des plages, marquée par la présence de platiers affleurants sur la basse plage et de zones de roches dans les petits fonds, qui compliquent les processus de transport sédimentaire, contribuent à cloisonner les plages, mais permettent une circulation des sédiments par *by passing* lors de l'occurrence de conditions énergétiques.



*Carte III.7 : Synthèse des comportements des profils de plage sur le court terme en Presqu'île de Rhuy*

Enfin, la présence d'un mur de défense contre la mer en haut de plage pourrait contribuer à modifier la dynamique du profil en favorisant sa variabilité. Parmi les trois profils levés au droit d'un mur de défense contre la mer, deux, sur les plages de Saint-Jacques et du Rohaliguen, sont caractérisés par une forte variabilité. Toutefois, une analyse plus détaillée du fonctionnement des plages sur le court terme serait nécessaire pour analyser l'impact du mur sur les variations des profils.

## II. ANALYSE DES COMPORTEMENTS MORPHODYNAMIQUES DES PLAGES OBSERVEES ENTRE FEVRIER 2008 ET JUIN 2009

La deuxième partie de ce chapitre est consacrée à l'analyse des comportements morphodynamiques identifiés à partir de la méthode décrite dans le chapitre 7. Les résultats sont présentés pour chaque système littoral étudié puis discutés sous forme de synthèse. Les variations topographiques discutées précédemment sont mises en relation avec les interactions existant entre contraintes hydrodynamiques et contraintes morpho-sédimentaires. Ces interactions sont mises en évidence à travers les valeurs obtenues par les différents paramètres morphodynamiques utilisés, qui permettent de définir des états de plages, associés à des modes de comportements morphodynamiques et des types de déferlement théoriques différents. En l'absence d'un corpus de données *in situ* suffisant, vérifiant le type de déferlement contribuant à façonner effectivement les profils de plages, les types de déferlements associés aux états morphodynamiques décrits par les paramètres de réplication de barres doivent être interprétés comme des déferlements théoriques ne prenant pas en compte, par exemple l'effet d'un vent *offshore* ou *onshore*. Au sein de chaque système côtier, les comportements morphodynamiques décrits par les indicateurs sont classés en plusieurs types. Certains sont propres à chaque système côtier. D'autres concernent plusieurs systèmes côtiers. Puis, une synthèse générale est effectuée afin d'identifier l'ensemble des types de comportement morphologique, et leur évolution, rencontrés sur les plages étudiées de Bretagne Sud.

### II.1. Le massif dunaire Gâvres-Penthièvre

Les valeurs obtenues pour le paramètre d'échelonnement de barre ( $\epsilon$ ) lors des différentes campagnes de suivi topographique effectuées sur les plages du massif dunaire sont synthétisées dans le tableau III.12. Excepté à Gâvres en Mars 2008 et à Etel Ouest en Mars 2008 et en Novembre 2008, les valeurs obtenues témoignent d'un comportement réfléchitif. Pour les plages de la Falaise, du Magouëro, d'Etel Ouest, de Kerouriec et de Penthièvre Ouest, les profils présentés sur la figure III.4 semblent cohérents avec ces résultats : ces plages sont caractérisées par une pente forte et la présence d'une berme a été identifiée sur plusieurs profils (*Wright et Short, 1984, Carter, 1999*). En Mars 2008, les comportements des plages de Gâvres et d'Etel Ouest s'inscrivent dans le domaine intermédiaire ( $\epsilon=0.40 - \epsilon=7.21$ ). Le même phénomène est observé à Etel Ouest en Novembre 2008 ( $\epsilon= 5.24$ ).

Les valeurs obtenues par le paramètre de réplication de barre ( $\zeta$ ) décrivent, pour la plupart des plages, des comportements appartenant au domaine intermédiaire, associés à des déferlements théoriques de type plongeant. En Mars 2008 et Septembre 2008, la plage d'Etel Ouest est caractérisée par un comportement réfléchissant, associé à un déferlement théorique de type gonflant.

Seules les plages de Gâvres et de Kerhillio sont caractérisées par un estran dissipatif, associé à un déferlement théorique de type glissant, mis en évidence par de faibles valeurs de ( $\zeta$ ), comprises entre 0.20 et 0.13 entre Septembre 2008 et Novembre 2008 à Gâvres, et 0.15 et 0.22 entre Juin 2008 et Septembre 2008 à Kerhillio.

Sur les plages de Gâvres et de Kerhillio, les valeurs obtenues par les paramètres d'échelonnement et de réplication de barre ne sont pas cohérentes. Ces deux plages présentent une morphologie similaire : elles sont caractérisées par une rupture de pente bien marquée située dans la partie supérieure de la moyenne plage, permettant d'individualiser deux sections de pente le long du profil. A Gâvres, où la plage est adossée à un mur de défense contre la mer, la rupture de pente est davantage marquée. La comparaison des valeurs obtenues avec la forme des profils (Figure III.5) et les valeurs des pentes des deux sections (Tableau III.12) permet d'expliquer partiellement les différents types de comportements mis en évidence par les indicateurs morphodynamiques utilisés.

	Paramètre d'échelonnement de barre ( $\epsilon$ )				
	Mars 2008	Mai/Juin 2008	Sept 2008	Nov 2008	Février 2009
Gâvres	0.40	0.16	0.11	0.02	-
La falaise		0.66	0.35	1.60	-
Magouëro		0.75	0.26	1.59	-
Etel Ouest	7.21	0.72	2.07	5.24	-
Kerouriec		1.66	1.25		-
Kerhillio		0.16	0.10		-
	Mars 2008	Février 2009	Mai 2009		
Penthièvre Ouest	3.94	-	0.53		
	Paramètre de réplication de barre ( $\zeta$ )				
	Mars 2008	Mai/Juin 2008	Sept 2008	Nov 2008	Février 2009
Gâvres	0.27	0.34	0.20	0.13	-
La falaise		0.69	0.42	0.31	-
Magouëro		0.74	0.37	0.31	-
Etel Ouest	1.14	0.72	1.03	0.57	-
Kerouriec		0.51	0.80		-
Kerhillio		0.15	0.22		-
	Mars 2008	Février 2009	Mai 2009		
Penthièvre Ouest	0.57	-	0.33		
	RTR				
	Mars 2008	Mai/Juin 2008	Sept 2008	Nov 2008	Février 2009
Gâvres	WNW 2.09	WSW 4.98	NNW 6.46	NWN 2.36	-
La falaise		WSW 4.98	NNW 6.46	NWN 2.36	-
Magouëro		WSW 4.98	NNW 6.46	NWN 2.36	-
Etel Ouest	WNW 2.09	WSW 4.98	NNW 6.46	NWN 2.36	-
Kerouriec		WSW 5.44	WNW 6.41		-
Kerhillio		WSW 5.44	WNW 6.41		-
	Mars 2008	Février 2009	Mai 2009		
Penthièvre Ouest	NNW 1.44	-	W 7.29		

Tableau III.12 : Classification morphodynamique des plages du massif dunaire Gâvres - Penthièvre

A Gâvres, le caractère réfléchissant de l'estran mis en évidence par les valeurs du paramètre d'échelonnement de barre décrit correctement le comportement de la section du profil située au-dessus du niveau moyen des mers, caractérisée par des valeurs de pente comprises entre 2°98 et 5°93. A l'inverse, le caractère dissipatif de l'estran au-delà de la rupture de pente, caractérisé par des valeurs de pente comprises entre 1°33 et 0°28, est bien mis en évidence par le paramètre d'échelonnement de barre. Les comportements intermédiaires sont correctement décrits par les deux indicateurs utilisés. A Kerhillio, le même phénomène est observé : la première section du profil de plage est caractérisée par des valeurs de pente comprises entre 3°08 et 4°61 et appartient au domaine réfléchissant mis en évidence par les valeurs du paramètre d'échelonnement de barre (Tableau III.13). Au-delà de la rupture de pente, la pente de la plage, comprise entre 1°11 et 0°87, appartient au domaine dissipatif mis en évidence par le paramètre de réplication de barre.

Les plages de la Falaise, du Magouëro, d'Etel Ouest, de Kerouriec et de Penthievre Ouest sont respectivement associées aux domaines réfléchissants et intermédiaires par les paramètres d'échelonnement et de réplication de barre. La comparaison des successions des différents états de plages mis en évidence par les variations des valeurs prises par ces indicateurs avec les variations des profils de plage décrites dans la session I de ce chapitre permet d'identifier deux autres groupes de plages au sein du massif dunaire.

	Gâvres		Kerhillio	
	Haut de plage	Moyenne et basse plage	Haut de plage	Moyenne et basse plage
<b>Mars 2008</b>	5.93°	0.79°		
<b>Mai/Juin 2008</b>	3.29°	1.33°	3.08°	0.91°
<b>Septembre 2008</b>	5.64°	0.28°	4.49°	0.87°
<b>Novembre 2008</b>	2.98°	0.18°		
<b>Février 2009</b>	3.44°	0.72°	4.61°	1.11°
<b>Pente Moyenne</b>	4.25°	0.66°	4.06°	0.96°

*Tableau III.13 : Valeurs des pentes,  $\tan \beta$ , des plages de Gâvres et Kerhillio, de part et d'autre de la rupture de pente*

Le premier ensemble est composé des plages de la Falaise, d'Etel Ouest et de Penthievre Ouest. Sur ces plages, les variations des états de plage mises en évidence par le paramètre d'échelonnement de barre sont cohérentes sur toutes les périodes de suivi morphologique avec les variations des profils de plage. Les comportements réfléchissants dominent sur la période étudiée.

Les plages de Magouëro et de Kerouriec forment le second ensemble. Pour ces plages, les variations des valeurs prises par le paramètre d'échelonnement de barre ne sont pas cohérentes avec les variations des profils décrits au sein de la première partie de ce chapitre.

A Magouëro, les valeurs prises par le paramètre de réplication de barre sont davantage cohérentes avec les variations observées des profils de plage entre les différentes périodes de suivi morphologique.

Ces deux plages partagent des caractéristiques morphologiques communes : dominé par des processus d'accrétion sur la période étudiée, le bas de plage est encastré dans des zones de roche et des bermes et/ou barres transverses sont bien développées sur tous les profils. La comparaison entre les variations, la forme des profils et les valeurs prises par les différents indicateurs morphologiques utilisés suggère que ces plages appartiennent au domaine intermédiaire sur la période utilisée. Les valeurs obtenues pour le RTR s'échelonnent entre 1.44 et 6.46 (Tableau III.12). Combinées aux comportements intermédiaires et réfléchissants décrits par les paramètres d'échelonnement et de réplication de barre, ces valeurs permettent de classer les plages du massif dunaire dans la catégorie *Low tide – bar rip* proposée par Masselink et Short (1993). Leur évolution sur le court terme apparaît ainsi contrôlée par l'action combinée des courants de houle et de marée (Figure III.8).

### Synthèse :

L'analyse du comportement morphodynamique des plages du massif dunaire Gâvres-Penthièvre entre Mars 2008 et Mai 2009 a permis de mettre en évidence trois types de plages au sein de ce système côtier :

Le premier type est représenté par les plages de Gâvres et de Kerhillio. Il correspond à des plages dont le profil est caractérisé par deux sections de pentes bien distinctes. La section de pente supérieure appartient au domaine réfléchissant, bien décrit par le paramètre d'échelonnement de barre. La section de pente inférieure appartient au domaine dissipatif, bien décrit par le paramètre de réplication de barre.

Le second type correspond aux plages de la Falaise, d'Etel Ouest et de Penthièvre Ouest caractérisées par des comportements réfléchissants bien mis en évidence par le paramètre d'échelonnement de barre.

Le troisième type est constitué des plages du Magouëro et de Kerouriec dont le comportement morphodynamique, mal décrit par le paramètre d'échelonnement de barre, semble trancher avec celui des plages du groupe précédent. Elles sont caractérisées par la présence de nombreuses zones de roche en bas de plage, de platiers affleurants à marée basse et de formes sédimentaires type bermes ou barres transverses sur la moyenne plage supérieure. A Magouëro, la plage appartient au domaine intermédiaire et son comportement est bien décrit par le paramètre de réplication de barre.



## II.2. La baie de Quiberon

Les résultats obtenus sont d'abord présentés pour le secteur Ouest, puis pour le secteur Sud-Est. Au sein de chacun de ces secteurs, différents types de comportements de plages sont identifiés. Puis, une synthèse est réalisée pour l'ensemble de la baie de Quiberon.

### II.2.1. Secteur Ouest :

Les valeurs obtenues pour le paramètre d'échelonnement de barre sur les plages de la baie de Quiberon, secteur Ouest, décrivent alternativement des comportements réfléchissants et intermédiaires sur les plages de Penthièvre Est et de Ty Bihan. A Légenesse, la plage appartient au domaine intermédiaire. Les comportements des plages de Carnac et du Men Du sont définis dans le domaine réfléchissant (Tableau III.14).

Ces plages sont, en outre, caractérisées par un déferlement théorique de type plongeant, associé aux domaines intermédiaires, à l'exception des plages de Penthièvre Est et du Men Du.

Les valeurs du paramètre de réplication de barre sont comprises entre 0.37 et 0.81 sur les plages de Carnac, Ty Bihan et Légenesse. En Mars 2008, à Penthièvre Est, la valeur obtenue pour cet indicateur indique l'appartenance au domaine réfléchissant, associé à un déferlement de type gonflant ( $\zeta = 1.01$ ). A l'inverse, en Mai 2009, sur la plage du Men Du, le comportement morphodynamique appartient au domaine dissipatif, associé à un déferlement de type glissant ( $\zeta = 0.11$ ) (Tableau III.14).

Sur la période étudiée, les valeurs obtenues pour le paramètre d'échelonnement de barre et de réplication de barre sur la plage du Men Du ne sont pas cohérentes entre elles. Les valeurs obtenues pour le paramètre d'échelonnement de barre indiquent un comportement réfléchissant, alors que celles obtenues pour le paramètre de réplication de barre décrivent un comportement de plage dissipatif. Par ailleurs, la morphologie de cette plage contraste fortement avec celle des plages voisines. La forme du profil est marquée par une forte rupture de pente située à environ 60 m du haut de plage, au niveau de la moyenne plage supérieure. Cette rupture de pente permet d'identifier deux sections de pente le long du profil. La première section est caractérisée par une pente forte, comprise entre  $4^{\circ}79$  et  $5^{\circ}15$ . Sur la partie supérieure de cette section, une berme de haute plage est visible sur chacun des profils levés. La deuxième section du profil présente une pente très faible, comprise entre  $0^{\circ}03$  et  $0^{\circ}11$  (Tableau III.15). Cette configuration morphologique ainsi que les réponses morphodynamiques enregistrées par les indicateurs utilisés sont semblables à celles observées sur les plages de Gâvres et de Kerhillio au sein du massif dunaire.

Paramètre d'échelonnement de barre								
	Février 2008	Mars 2008	Février 2009	Mai 2009	Juin 08	Oct 2008	Janv 2009	Juin 2009
Penthièvre Est	5.38	12.39	-	0.99				
Ty bihan	3.88	2.34	-	2.47				
Légenesse	3.49	3.29	-	3.11				
Carnac	2.48	1.71	-	1.78				
Men Du	-	1.14	-	0.08				
Foego					1.85	4.15	-	1.29
Etang de Tumiach					1.52	3.65	-	1.01
Kervest					0.63	2.2	-	0.96
Govelin					1.18	2.23	-	2.22
Paramètre de réplication de barre								
	Février 08	Mars 08	Février 09	Mai 09	Juin 08	Oct 2008	Janv 2009	Juin 2009
Penthièvre Est	0.47	1.01	-	0.46				
Ty bihan	0.4	0.44	-	0.72				
Légenesse	0.38	0.52	-	0.81				
Carnac	0.32	0.37	-	0.67				
Men Du	-	0.4	-	0.11				
Foego					0.54	0.87	-	0.63
Etang de Tumiach					0.82	0.96	-	0.46
Kervest					0.32	0.63	-	0.45
Govelin					0.43	0.64	-	0.69
RTR								
	Février 08	Mars 08	Février 09	Mai 09	Juin 08	Oct 2008	Janv 2009	Juin 2009
Penthièvre Est	WNW 1.73	WNW 1.44	-	WNW 2.25				
Ty bihan	WNW 1.73	WNW 1.44	-	WNW 2.25				
Légenesse	WNW 1.73	WNW 1.44	-	WNW 2.25				
Carnac	WNW 1.73	WNW 1.44	-	WNW 2.25				
Men Du	WNW 1.73	WNW 1.44	-	WNW 2.25				
Foego					WNW 5.89	W 1.92	-	NNW 7.29
Etang de Tumiach					WNW 5.89	W 1.92	-	NNW 7.29
Kervest					WNW 5.89	W 1.92	-	NNW 7.29
Govelin					WNW 5.89	W 1.92	-	NNW 7.29

Tableau III.14: Classification morphodynamique des plages en Baie de Quiberon

Plage du Men Du		
	Haut de plage	Moyenne et basse plage
<b>Mars 2008</b>	5°15	0°11
<b>Février 2009</b>	4°79	0°03
<b>Mai 2009</b>	4°85	0°08
<b>Pente moyenne</b>	4.93°	0.07°

Tableau III.15 : Valeurs des pentes,  $\tan\beta$ , de la plage du Men Du, de part et d'autre de la rupture de pente

Pour les plages de Ty Bihan, de Légenesse et de Carnac, les variations des valeurs prises par les paramètres d'échelonnement et de réplication de barre sont cohérentes avec les variations des profils de plage discutées au sein de la première partie de ce chapitre. Entre Février 2008 et Mars 2008, elles témoignent d'une évolution du comportement des plages inscrite dans des séquences d'accrétion.

La plage de Penthièvre Est adopte un comportement différent. La morphologie de la plage diffère de celle rencontrée sur les autres plages. Le profil est marqué par une forte rupture de pente permettant d'individualiser une première section réfléchissante et une seconde section dissipative. Contrairement à ce qui est observé sur la plage du Men Du, cette rupture de pente est située dans la partie inférieure de la moyenne plage.

De plus, les variations des profils de plage sont cohérentes avec les variations des états de plage indiquées par les valeurs du paramètre d'échelonnement de barre. Les variations des valeurs du paramètre de réplication de barre paraissent quant à elles incohérentes, décrivant l'occurrence d'une séquence d'accrétion entre Février 2008 et Mars 2008, alors que sur ce pas de temps le profil enregistre une forte érosion. Cette incohérence entre les valeurs prises par les deux indicateurs utilisés rappelle les observations effectuées sur les plages de Gâvres, Kerhillio et du Men Du. Toutefois, à l'inverse de ce qui est observé sur ces plages, les indicateurs utilisés ne permettent pas de différencier les comportements respectivement réfléchissants et dissipatifs de la partie supérieure et inférieure du profil. Ils enregistrent la réponse morphodynamique de l'ensemble du profil, dont le comportement est défini dans le domaine intermédiaire.

Pour ces plages, les valeurs obtenues pour le RTR s'échelonnent entre 1.44 et 2.25 (Tableau III.14). Combinées aux comportements majoritairement intermédiaires, et dans une moindre mesure, réfléchissants, décrits par les paramètres d'échelonnement et de réplication de barre, ces valeurs permettent de classer les plages de la baie de Quiberon dans la catégorie *Low tide – bar rip* proposée par Masselink et Short (1993). Leurs évolutions sur le court terme apparaissent ainsi contrôlées par l'action combinée des courants de houle et de marée (Figure III.8).

### II.2.2. Secteur Sud Est :

Les plages situées au Sud Est de l'entrée du Golfe du Morbihan sont caractérisées comme des plages réfléchissantes par les valeurs du paramètre d'échelonnement de barre, à l'exception de la plage de Kervest, secteur Etang de Tumiach, en Octobre 2008. Les valeurs obtenues par le paramètre de réplication de barre soulignent l'occurrence d'un déferlement théorique de type plongeant sur la période étudiée, et contribuent à classer le comportement de ces plages dans le domaine intermédiaire (Tableau III.14).

Pour les plages du Foego et des Govelins, la variation des valeurs obtenues par le paramètre de réplication de barre permet de mettre en évidence une variation des états de plage correspondant davantage aux variations des profils discutées dans la section I.2 (Chapitre 8). Entre Juin 2008 et Octobre 2008, ces valeurs passent respectivement de 1.85 à 4.15, et de 1.8 à 2.23, indiquant l'occurrence d'une séquence d'érosion en adéquation avec l'évolution des profils sur cette période. A l'inverse, sur les plages de Kervest, secteur Etang de Tumiach et secteur Sud Est, les variations des valeurs du paramètre d'échelonnement de barre mettent en évidence des séquences d'évolution de plage dominées par des processus d'accrétion, notamment entre Juin 2008 et Octobre 2008, correspondant aux variations des profils de plage observées sur ce pas de temps.

Pour ces plages, les valeurs obtenues pour le RTR sont comprises entre 1.44 et 7.29 (Tableau III.14). Combinées aux comportements majoritairement intermédiaires et réfléchissants, décrits par les paramètres d'échelonnement et de réplication de barre, ces valeurs permettent de classer les plages du massif dunaire dans la catégorie *Low tide – bar rip* proposée par Masselink et Short (1993). Leurs évolutions sur le court terme apparaissent ainsi contrôlées par l'action combinée des courants de houle et de marée (Figure III.8).

### Synthèse :

Au sein de la baie de Quiberon, quatre types de plages peuvent être identifiés à partir de l'analyse de leur comportement morphodynamique. Ces types sont étroitement liés à la morphologie du profil ainsi qu'à la localisation de la plage au sein de la baie de Quiberon.

Le premier type est constitué par la plage du Men Du, caractérisée par une morphologie similaire à celle observée à Gâvres et à Kerhillio. L'enregistrement du comportement morphodynamique de la plage du Men Du par les indicateurs utilisés ( $\epsilon$  et  $\zeta$ ) est similaire à celui observé sur les plages de Gâvres et de Kerhillio. La partie supérieure du profil adopte un comportement réfléchissant bien défini par le paramètre d'échelonnement de barre, et la partie inférieure adopte un comportement dissipatif mis en évidence par le paramètre de réplication de barre.

Le second type regroupe les plages de Carnac, de Légenesse et de Ty Bihan. Ces plages sont situées au centre de la baie. Elles sont caractérisées par des comportements intermédiaires lors de la plupart des périodes de suivi morphologique analysées. Leur fonctionnement morphodynamique est bien décrit par les deux indicateurs utilisés.

La plage de Penthievre constitue le troisième type, qui se distingue des plages de type 2 par l'absence de cohérence entre les variations des états de plages décrits par le paramètre de réplication de barre et celles des profils de plage. Elle est située à l'Est de la baie et est caractérisée par un comportement intermédiaire.

Les plages du Foego et des Govelins, situées au Sud-Est du Golfe du Morbihan, sont caractérisées par des comportements réfléchissants, bien décrits par le paramètre d'échelonnement de barre. Les plages de Kervest, secteur étang de Tumiach et secteur Sud-Est, sont caractérisées par des comportements intermédiaires, bien décrits par le paramètre de réplication de barre. Ils correspondent au quatrième type de plages observé.

### II.3. La Presqu'île de Rhuys

Les valeurs obtenues pour le paramètre d'échelonnement de barre sur les plages des Grèves de Susicinio, de Beg Lann, de Susicinio et de Landrezac décrivent des comportements appartenant aux domaines intermédiaires lors de chacune des périodes de suivi morphologique entreprises entre Février 2008 et Mars 2009 (Tableau III.16).

Avec des valeurs comprises respectivement entre 0.22 et 0.33, et 0.66 et 2.52, les plages de Kerfontaine et de Penvins sont caractérisées par des comportements réfléchissants. Sur les plages de Saint Jacques et du Rohaliquen, les valeurs du paramètre d'échelonnement de barre varient entre 6.48 et 1.25, et 4.59 et 0.82, témoignant d'une migration du comportement de ces plages entre des états intermédiaires et réfléchissants sur la période analysée (Tableau III.16).

	Valeur du paramètre d'échelonnement de barre			
	Février 2008	Mai 2008	Octobre 2008	Mars 2009
Plage Saint Jacques	5.67	6.48	1.25	-
Plage de Kerfontaine	0.22	0.82	0.33	-
Plage du Rohaliquen	1.37	4.59	0.92	-
Plage des Grèves de Susicinio	11.15	14.64	4.41	-
Plage de Beg Lann	5.26	11.04	7.19	-
Plage de Susicinio	12.05	13.36	6.41	6.1
Plage de Landrezac	4.93	12.62	6.26	3.19
Plage de Penvins	0.66	2.52	1.57	0.81
	Valeur du paramètre de réplication de barre			
	Février 2008	Mai 2008	Octobre 2008	Mars 2009
Plage Saint Jacques	1.03	0.49	0.34	-
Plage de Kerfontaine	0.15	0.18	0.26	-
Plage du Rohaliquen	0.37	0.53	0.83	-
Plage des Grèves de Susicinio	1.07	0.77	0.96	-
Plage de Beg Lann	0.34	0.65	0.54	-
Plage de Susicinio	0.51	0.71	0.52	0.56
Plage de Landrezac	0.32	2.20	0.54	0.40
Plage de Penvins	0.26	0.31	0.27	0.20
	RTR			
	Février 2008	Mai 2008	Octobre 2008	Mars 2009
Plage Saint Jacques	S 3.84	WSW 2.20	WSW 6.07	-
Plage de Kerfontaine	S 3.84	WSW 2.20	WSW 6.07	-
Plage du Rohaliquen	S 3.84	WSW 2.20	WSW 6.07	-
Plage des Grèves de Susicinio	S 3.84	WSW 2.20	WSW 6.07	-
Plage de Beg Lann	WSW 2.63	WSW 3.38	WNW 2.36	-
Plage de Susicinio	WSW 2.63	WSW 3.38	WNW 3.75	W 4.02
Plage de Landrezac	WSW 2.63	WSW 3.38	WNW 3.75	W 4.02
Plage de Penvins	WSW 2.63	WSW 3.38	WNW 3.75	W 4.02

Tableau III.16 : Classification morphodynamique des plages de la Presqu'île de Rhuys

Excepté sur les plages de Kerfontaine et de Penvins où les valeurs obtenues pour le paramètre de réplication de barre sont inférieures à 0.24, les valeurs obtenues décrivent des déferlements de type plongeant associés aux domaines intermédiaires sur l'ensemble des plages étudiées. Sur les plages de Saint Jacques et des Grèves de Suscinio, en Février 2008, les valeurs du paramètre de réplication de barre sont toutefois supérieures à 1, décrivant la prédominance de comportement réfléchissant, associé à des déferlements de type gonflant. A Kerfontaine et à Penvins, les valeurs obtenues pour le paramètre de réplication de barre diffèrent fortement de celles observées sur les autres plages. A Kerfontaine, entre Février 2008 et Mars 2009, elles sont comprises entre 0.15 et 0.26. Sur la plage de Penvins, sur le même intervalle de temps, elles varient entre 0.20 et 0.30. Ces valeurs sont largement inférieures à celles observées sur les autres plages. Elles soulignent l'existence de comportements morphodynamiques appartenant au domaine dissipatif et associés à la prédominance d'un déferlement de type glissant. Sur les plages de Kerfontaine et de Penvins, les valeurs obtenues pour les paramètres d'échelonnement et de réplication de barre ne sont pas cohérentes entre elles. Elles décrivent respectivement des comportements appartenant au domaine réfléchissant et des comportements appartenant ou proches du domaine dissipatif.

A Kerfontaine, la pente de la plage est comprise entre  $0^{\circ}82$  et  $0^{\circ}22$ . L'estran est ainsi caractérisé par une pente faible dont le caractère dissipatif est plus fidèlement mis en évidence par le paramètre de réplication de barre. A Penvins, la morphologie de la plage et la forme du profil rappellent les observations effectuées au sein du massif dunaire sur les plages de Gâvres et de Kerhillio, et sur la plage du Men-Du au sein de la baie de Quiberon : la pente de la plage est marquée par une forte rupture de pente située dans la partie supérieure de la moyenne plage (Tableau III.17). La première section du profil, située au niveau du haut de plage et de la partie supérieure de la moyenne plage, est caractérisée par une forte pente comprise entre  $11^{\circ}46$  et  $8^{\circ}55$ . La seconde section de pente est à l'inverse caractérisée par une pente nettement plus faible, n'excédant pas  $1^{\circ}80$ . Sur la plage de Penvins, les valeurs obtenues par le paramètre d'échelonnement de barre décrivent le comportement du haut de plage, alors que celles obtenues pour le paramètre de réplication de barre mettent en évidence le caractère dissipatif de la plage au-delà de la rupture de pente.

<b>Plage de Penvins</b>		
	Haut de plage	Bas de plage
<b>Mai 2008</b>	11.46	1.57
<b>Octobre 2008</b>	7.80	1.80
<b>Mars 2009</b>	8.55	1.20
<b>Pente moyenne</b>	9.27	1.52

Tableau III.17 : Valeurs des pentes,  $\tan\beta$ , de la plage de Penvins, de part et d'autre de la rupture de pente

En outre, la comparaison entre les variations des profils discutés précédemment et les variations des états de plage mis en évidence par les variations des paramètres d'échelonnement et de réplication de barre a permis de mettre en évidence que les variations des états de plages décrits par le paramètre d'échelonnement de barre correspondent mieux à l'évolution des plages de Saint Jacques et du Rohaliguen, situées à l'Est de l'anse de Susicinio. L'évolution de la plage des Grèves de Susicinio est à l'inverse mieux décrite par les variations du paramètre de réplication de barre. Il est toutefois difficile d'interpréter les résultats obtenus sur ces plages isolées les unes des autres par des pointes rocheuses et des platiers sub affleurants. Dans l'anse de Susicinio, l'évolution des plages est cohérente avec les variations enregistrées par les deux indicateurs morphodynamiques utilisés.

A Beg Lann et à Susicinio, les profils enregistrent des variations différentes sur le haut de plage, la moyenne plage inférieure et la moyenne plage supérieure selon les pas de temps. D'une manière générale, l'évolution en haut de plage, au niveau des marées hautes de vives et basses eaux, est caractérisée par la formation, la migration et la disparition de formes sédimentaires type croissant de plage ou berme de haut de plage. Ces évolutions sont bien décrites par les variations du paramètre de réplication de barre qui indiquent par exemple la formation d'une berme sur le haut de plage, visible sur les profils, à Beg Lann entre Février 2008 et Mai 2008 ou l'érosion du haut de plage à Susicinio entre Mai 2008 et Octobre 2008.

L'évolution du reste du profil, au niveau de la moyenne plage, est bien décrite par les variations des valeurs du paramètre d'échelonnement de barre. Sur la plage de Landrezac, les variations observées des profils de plage correspondent, selon les pas de temps, à l'une ou l'autre des variations enregistrées par les indicateurs utilisés.

Pour ces plages, les valeurs obtenues pour le RTR sont comprises entre 2.20 et 6.07 (Tableau III.16). Combinées à la prédominance des comportements intermédiaires, décrits par les paramètres d'échelonnement et de réplication de barre, ces valeurs permettent de classer les plages du massif dunaire dans la catégorie *Low tide – bar rip* proposée par Masselink et Short (1993). Leurs évolutions sur le court terme apparaissent ainsi contrôlées par l'action combinée des courants de houle et de marée (Figure III.7).

Synthèse :

La présence de nombreuses zones de roches dans les petits fonds, de platiers affleurants en bas de plage et de pointes rocheuses entre l'anse de Suscinio et les plages situées à l'Ouest de la pointe de Beg Lann rend difficile une interprétation généralisée à l'échelle du secteur étudié des résultats obtenus.

D'une manière générale, la plupart des plages situées à l'Ouest de Beg Lann sont caractérisées par des comportements intermédiaires, marqués par une forte variabilité. A Saint Jacques et au Rohaliguen, cette forte variabilité du comportement de la plage se traduit par une migration entre des états de plage réfléchissants et intermédiaires correctement représentés par les variations du paramètre d'échelonnement de barre. Le comportement de la plage des Grèves de Suscinio, caractérisée par une morphologie similaire, est quant à lui mieux décrit par le paramètre de réplication de barre. La plage de Kerfontaine adopte un comportement radicalement différent et présente un estran dissipatif correctement mis en évidence par le paramètre de réplication de barre.

Dans l'anse de Suscinio, à l'exception de la plage de Penvins, les plages sont également caractérisées par des comportements intermédiaires. D'une manière générale, les variations du haut de plage, souvent associées à la migration de formes sédimentaires sur l'estran, sont correctement mises en évidence par les variations du paramètre d'échelonnement de barre alors que la réponse du reste du profil aux variations des forçages hydrodynamiques est bien enregistrée par le paramètre d'échelonnement de barre. A Penvins, le haut de plage réfléchissant est bien décrit par le paramètre d'échelonnement de barre. Le comportement de la moyenne et basse plage, caractérisée par un comportement dissipatif, est correctement décrit par le paramètre de réplication de barre. Sur la plage de Suscinio, les résultats discutés sont cohérents avec les résultats obtenus par Dubois (*Thèse en cours – UBS*).

Ainsi, l'analyse du comportement morphodynamique des plages de la Presqu'île de Rhuys a permis de renforcer les observations réalisées dans les autres secteurs : la plage de Penvins est caractérisée par une morphologie similaire à celle de Gâvres, Kerhillio et du Men Du, et adopte le même type de comportement morphodynamique contrasté en haut et milieu/bas de plage. Ces comportements sont enregistrés de la même manière par les paramètres morphodynamiques utilisés : les comportements réfléchissants sont correctement décrits par le paramètre d'échelonnement de barre, et les comportements dissipatifs par le paramètre de réplication de barre. De plus, l'analyse du comportement de la plage de Kerfontaine permet de renforcer encore cette observation puisque sur cette plage le caractère dissipatif du profil est mis en évidence par le paramètre de réplication de barre.



Synthèse Générale :

L'analyse des comportements morphodynamiques caractérisant les plages lors de chaque levée topographique a permis d'identifier six principaux types de fonctionnement morphodynamique en Bretagne Sud durant la période étudiée (Février 2008 – Juin 2009). Les plages associées à ces six différents types de comportement morphodynamique sont listées dans le tableau III.17.

Le type 1 caractérise les plages marquées par une forte rupture de pente en haut de plage ou sur la moyenne plage supérieure. Cette rupture de pente permet d'individualiser deux sections de pente le long du profil : la première section est caractérisée par un comportement réfléchissant bien défini par le paramètre d'échelonnement de barre. La seconde section adopte un comportement dissipatif, bien décrit par le paramètre de réplication de barre. Ce type de plage est présent au sein des trois systèmes côtiers étudiés (Tableau III.17).

Le type 2 est composé de plages réfléchissantes, dont le comportement morphodynamique est bien décrit par le paramètre de réplication de barre. Il est bien représenté au sein du massif dunaire, en Baie de Quiberon et au Sud-Est du Golfe (Tableau III.17).

Type de comportement morphodynamique dominant sur la période étudiée (Février 2008 – Juin 2009)	Plages concernées par chaque type de comportement morphodynamique	Système dune-plage
Type 1 (HP : réfléchissant / BP : dissipatif)	Gâvres, Kerhillio, Men Du, Penvins	Massif dunaire, Baie de Quiberon, Presqu'île de Rhuy
Type 2 (Réfléchissant)	La Falaise, Etel Ouest, Penthièvre Ouest, Le Foego, Les Govelins	Massif dunaire, Baie de Quiberon
Type 3 (Intermédiaire - $\zeta$ )	Magouëro, Kerhillio, Kervest – Etangs de Tumiach	Massif dunaire, Presqu'île de Rhuy
Type 4 (Intermédiaire - $\varepsilon/\zeta$ )	Carnac, Légenesse, Ty Bihan, les Grèves de Susicinio, Penthièvre Est, Susicinio, Beg Lann, Landrezac	Massif dunaire, Baie de Quiberon, Presqu'île de Rhuy
Type 5	Saint Jacques, Le Rohaliguen	Presqu'île de Rhuy
Type 6 Dissipatif	Kerfontaine	Presqu'île de Rhuy

*Tableau III.17 : Synthèse des types de comportement morphodynamique identifiés sur les plages de Bretagne Sud entre Février 2008 et Juin 2009*

Les types 3 et 4 correspondent tous deux aux plages marquées par un comportement morphodynamique intermédiaire. Ils se distinguent l'un de l'autre par la manière dont est enregistré ce comportement par les différents indicateurs morphodynamiques utilisés par l'analyse. Le type 3 met en évidence les plages dont le comportement intermédiaire est bien décrit par le paramètre de réplication de barre.

Le type 4 permet d'appréhender les plages dont le comportement intermédiaire, sur la période étudiée, est alternativement bien décrit par les paramètres d'échelonnement et de réplication de barre.

Sur ces plages, les variations des valeurs prises par le paramètre de réplication de barre reflètent l'évolution des formes sédimentaires présentes sur l'estran, alors que les variations du paramètre d'échelonnement de barre décrit l'évolution générale du profil de plage. Ces types de plage sont présents au sein de ces trois systèmes dunes-plages étudiés (Tableau III.17).

Le type 5 décrit les plages caractérisées par une forte variabilité, sur la période étudiée, de leur comportement morphodynamique qui évolue entre des états réfléchissants à intermédiaires. Il correspond aux plages de Saint Jacques et de Rohaliguen en Presqu'île de Rhuys (Tableau III.17).

Enfin, le type 6 correspond aux plages marquées par un profil dissipatif, bien décrit par le paramètre de réplication de barre. Il caractérise la plage de Kerfontaine en Presqu'île de Rhuys (Tableau III.17).

A partir de cette classification, plusieurs observations peuvent être soulignées. Sur les plages de Bretagne Sud, les comportements réfléchissants paraissent bien décrits par le paramètre d'échelonnement de barre. A l'inverse, les comportements dissipatifs sont mieux appréhendés à partir de l'utilisation du paramètre de réplication de barre. Enfin, les comportements intermédiaires sont bien décrits par ces deux indicateurs.

La figure III.8 représente la position des plages étudiées au sein de la classification établie par Masselink et Short (1993). Les valeurs du paramètre  $\Omega$  ont été remplacées par celles des paramètres d'échelonnement et de réplifications de barres (*Dehouck, 2006*). Cette figure permet de synthétiser l'ensemble des informations fournies par les différents résultats en représentant graphiquement, pour chaque système dune-plage, l'intervalle de valeurs prises par les différents indicateurs morphodynamiques. Elle permet ainsi d'identifier les types de comportements morphodynamiques des plages de Bretagne Sud. Les plages situées à l'Est et au centre de la baie de Quiberon sont toutes caractérisées par des comportements morphodynamiques similaires, principalement intermédiaires, à l'exception du bas de plage dissipatif de la plage du Men Du. Au sein du massif dunaire Gâvres-Penthièvre et de la Presqu'île de Rhuys, les types de comportements morphodynamiques sont plus contrastés et varient entre des états réfléchissants à intermédiaires avec des valeurs du paramètre RTR comprises entre 1 et 3. Les plages situées au Sud-Est de la baie de Quiberon occupent une position intermédiaire : variant entre des états réfléchissants et intermédiaires, elles sont caractérisées par des valeurs du paramètre RTR comprises entre 1.92 et 7.29.

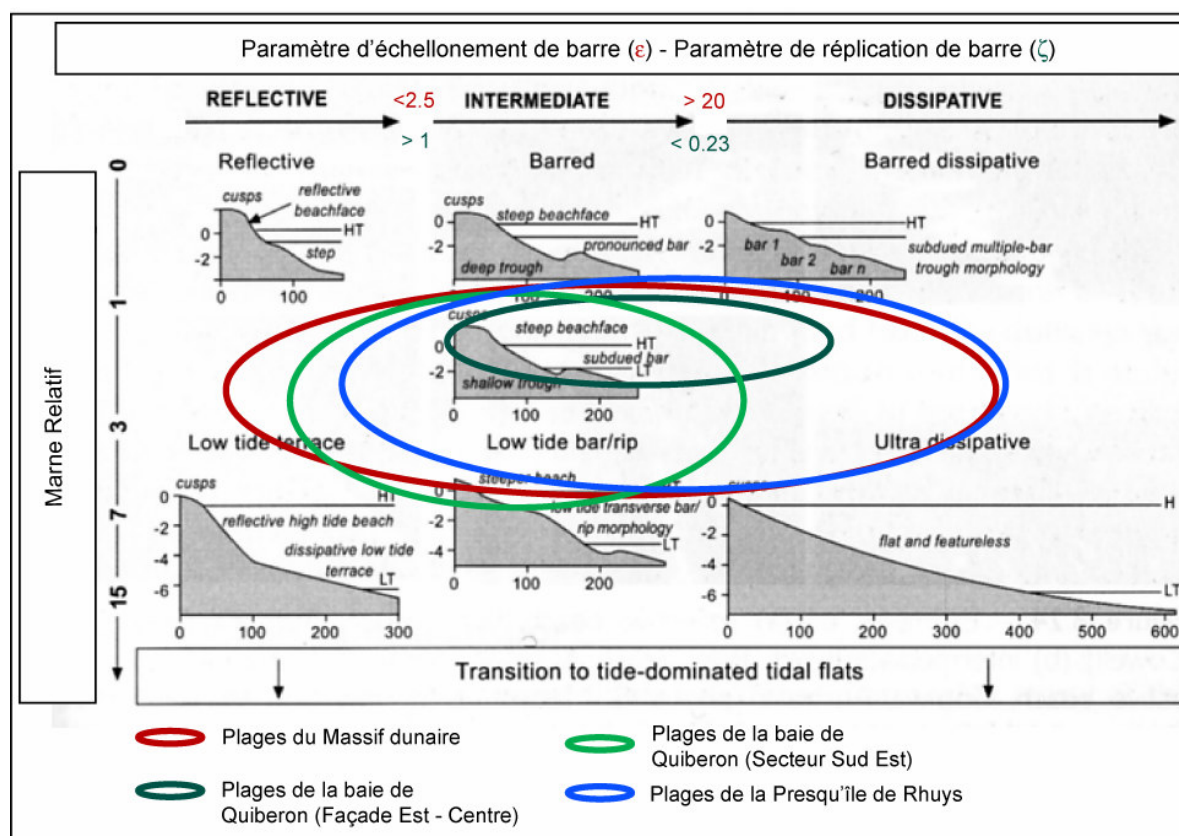


Figure III.8 : Classification des plages suivant la combinaison des résultats obtenus par les paramètres d'échellonnement de barre, de réplication de barre et du RTR. Figure réalisée à partir de Masselink et Hudges, 2003 -

### III. ANALYSE DES DONNEES GRANULOMETRIQUES

Cette troisième partie s'intéresse aux résultats obtenus par l'analyse granulométrique des échantillons prélevés sur le terrain, ou issus d'analyses antérieures (*DDE, 1976 ; Estournes et al., 2007, 2008*). Les variations spatiales des indicateurs granulométriques, le long des profils des plages, et d'un profil à l'autre, permettent d'apporter des informations sur le fonctionnement morphologique des plages (*Short, 1999*), et notamment sur l'occurrence et la direction des échanges sédimentaires. De nombreuses études ont pu établir un lien entre les variations de la répartition spatiale des paramètres caractérisant la granulométrie des sédiments – sur l'estran, l'avant plage ou des environnements fluviaux – et des schémas de transport sédimentaire (*Prederos, 1996, Le Roux, 1994, Mohd-Lokman, et al., 1998, Asselman, 1999, Cheng et al., 2004, van Lancker et al., 2004, Hemdame, 2006, Sedrati et Anthony, 2007, Mc Laren, et al., 2007, Poizot, 2008*). Ces études s'appuient, en grande partie, sur les travaux de Mc Laren et Bowles (1985) et de Gao et Collins (1991, 1992), qui ont contribué à développer ce type d'analyse en proposant des méthodes basées sur l'analyse des variations spatiales de plusieurs paramètres granulométriques, tels que la taille moyenne du grain ainsi que les indices adimensionnels de tri et d'asymétrie. Toutefois, dans le cadre des travaux réalisés, la forte extension des sites d'étude n'a pas permis de mettre en place une grille d'échantillonnage suffisamment dense et régulière pour réunir les conditions nécessaires à l'utilisation de ce modèle. Les variations des caractéristiques de la couverture sédimentaire des plages n'ont été discutées que dans une perspective descriptive et qualitative.

#### III.1. Gâvres – Penthievre

Comme indiqué au sein du premier chapitre, les données granulométriques utilisées pour cartographier la couverture sédimentaire du massif dunaire Gâvres – Penthievre proviennent de prélèvements effectués par la D.D.E. (1996) et des analyses menées par Estournes et al. (2007 - 2008). Au total, 18 échantillons ont été prélevés et traités, sur les plages du système dunaire ainsi qu'au large de la Ria d'Etel (Figure III.9). Les échantillons 1, 6 et 11 (Figure III.9), localisés respectivement sur les plages de Gâvres, Etel et Sainte Barbe, ont été prélevés par la DDE en 1996 et analysés par Estournes et al. (2007, 2008) en suivant une méthodologie différente de celle utilisée dans le cadre de ces travaux de thèse. Le paragraphe suivant reprend les principales informations contenues dans l'analyse effectuée par ces auteurs. Les prélèvements ont été effectués dans la zone intertidale. Les échantillons ont été lavés puis passés dans une colonne de tamis dont les mailles sont comprises entre 0.63mm et 40mm.

L'analyse, effectuée à partir des refus de tamis et de la taille des grains exprimés en mm, a consisté à réaliser des courbes granulométriques de fréquences et à calculer les indices de tri et d'asymétrie.

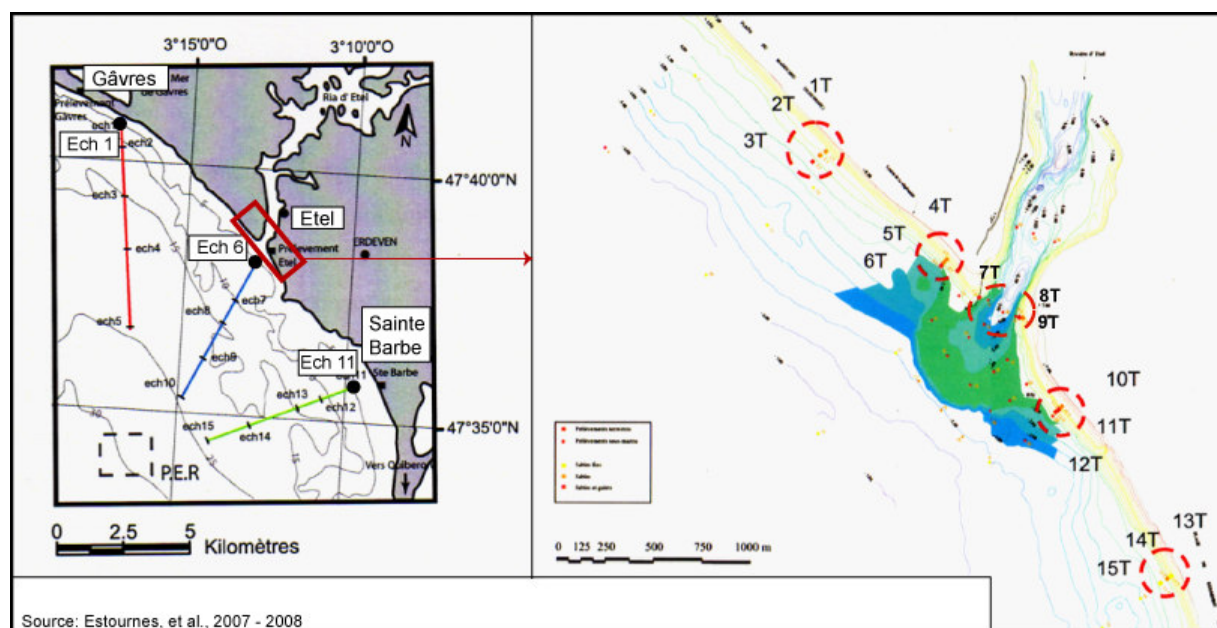


Figure III.9: Localisation des prélèvements effectués au sein du massif dunaire Gâvres - Penthievre

Les résultats ont mis en évidence que la plage de Gâvres est constituée de sables grossiers, caractérisés par un enrichissement en particules grossières (mode =  $\phi$  0.95mm et  $Sk = 1.14$ ). L'enrichissement en particules grossières pourrait traduire l'existence d'un apport sédimentaire lié à l'abrasion des platiers rocheux et à l'érosion des falaises de Gâvres. La plage d'Etel est constituée d'éléments plus grossiers type graviers, très bien triés (mode 2=  $\phi$ mm et  $So = 0.55$ ). Enfin, les prélèvements effectués à Sainte Barbe mettent en évidence une granulométrie plus fine, composée de sables moyens à fins, bien triés (mode 0.54=  $\phi$ mm et  $So = 0.67$ ). D'une manière générale, ces caractéristiques granulométriques mettent en évidence que les plages sont situées dans un environnement exposé à l'action des houles (Estournes et al., 2007, 2008).

Les refus des tamis des 15 autres échantillons situés à proximité de la Ria d'Etel ont été traités à partir de la méthode présentée dans le chapitre méthodologie de cette partie. Les prélèvements ont été effectués le long de profils de l'estran jusqu'à des profondeurs proches de -5m par la D.D.E. Les prélèvements effectués en dessous du niveau des marées basses de vives eaux ont été effectués par des plongeurs. Initialement, les sédiments ont été tamisés en utilisant une colonne comprenant des mailles de 8mm à 0.80mm. De manière à respecter la méthodologie présentée au chapitre 7, seuls les refus des mailles comprises entre 4mm et 0.80mm ont été conservés et le diamètre des mailles du tamis a été converti en bornes de classes évoluant sur une échelle phi (Tableau III.18).

Le tableau III.18 synthétise les résultats obtenus pour l'analyse de ces 15 échantillons. Au Nord-Ouest de la Ria, la granulométrie est composée de sables grossiers, faiblement triés. Au droit de la ria d'Etel, la granulométrie est plus grossière, caractérisée par la présence de graviers.

Puis, au Sud-Est, la taille des grains diminue et l'estran est composé de sables moyens à grossiers. En outre, on note dans ce secteur de fortes asymétries témoignant d'une surreprésentation alternativement des grains les plus fins ou les plus grossiers par rapport à la distribution de la taille des grains de l'échantillon total. Ceci traduit d'importants transits sédimentaires opérant parallèlement et perpendiculairement au trait de côte.

	DIAMETRE MOYEN	INDICE DE TRI	INDICE D'ASYMETRIE
T1	- 0.82 sables grossiers	1.21 mal trié	1.93
T2	- 0.37 sables grossiers	0.77 modérément trié	3.32
T3	0.88 sables grossiers	1.76 mal trié	- 0.01
T4	0.27 sables grossiers	1.22 mal trié	0.62
T5	1.46 sables moyens	1.10 mal trié	- 0.29
T6	0.15 sables grossiers	1.24 mal trié	0.91
T7	-0.51 sables grossiers	0.69 modérément trié	0.44
T8	-0.58 sables grossiers	0.29 très bien trié	- 2.04
T9	-1.47 graviers et gravillons	0.18 très bien trié	7.86
T10	-0.68 sables grossiers	0.51 modérément trié	0.03
T11	- 0.81 sables grossiers	0.65 modérément trié	0.62
T12	- 1.38 graviers et gravillons	0.37 très bien trié	4.34
T13	0.37 sables grossiers	1.25 mal trié	0.56
T14	1.31 sables moyens	1.26 mal trié	- 0.57
T15	1.89 sables moyens	1.14 mal trié	- 1.13

*Tableau III.18: Résultats des analyses granulométriques réalisées au sein du massif dunaire.*

### III.2. Baie de Quiberon

Cette seconde section présente les résultats obtenus en baie de Quiberon. Les plages situées de part et d'autre de l'entrée du Golfe du Morbihan ont été traitées séparément (carte III.8 et carte III.9). Les prélèvements situés dans le secteur Ouest ont été effectués en Mai 2009, avec une houle au large orientée Ouest Nord-Ouest. Sur les plages situées au Sud-Est, les prélèvements ont été effectués, à étales de basse mer, en Janvier 2009, avec une houle provenant d'un secteur Sud Sud-Est.

### III.2.1. Secteur Ouest

Les prélèvements effectués à l'Est de l'isthme de Penthièvre ont mis en évidence la présence, dans ce secteur de la baie, de dépôts fortement asymétriques et mal triés, caractérisés par une fraction grossière importante en haut de plage et des fractions plus fines en bas de plage (Tableau III.19). Les valeurs obtenues pour l'indice d'asymétrie traduisent un enrichissement en particules fines des dépôts.

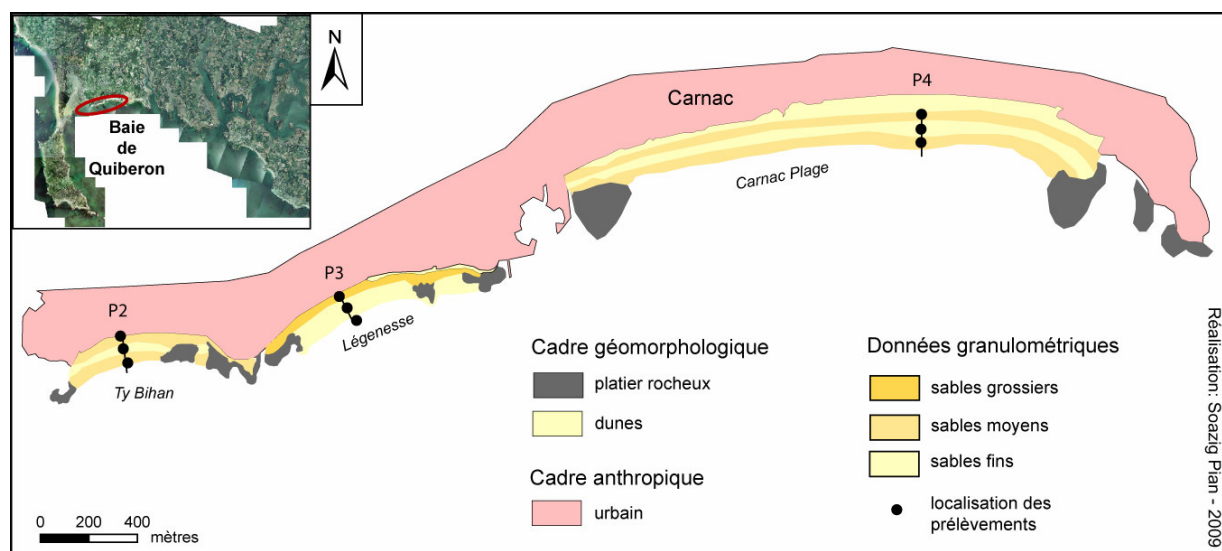
Les plages situées au centre de la baie sont caractérisées par une granulométrie mixte, composée de sables grossiers, moyens et fins, généralement bien triés en milieu et bas de plage.

La plage de Légenesse est composée des sables les plus grossiers (carte III.8). Sur les plages de Ty Bihan et de Carnac, les répartitions de la granulométrie sur l'estran sont similaires avec des sables moyens en haut et bas de plage et des sables fins en milieu de plage.

	Diamètre moyen en phi	Indice adimensionnel de tri	Indice adimensionnel d'asymétrie
Profil 1 - Penthièvre Est			
Haut de plage	0.27 grossier	0.77 modérément trié	0.19 Surreprésentation des fines
Mi plage	0.67 grossier	1.56 mal trié	0.14 Surreprésentation des fines
Bas de plage	0.25 grossier	1.64 mal trié	0.30 Surreprésentation des fines
Profil 2 - Ty bihan			
Haut de plage	1.63 moyen	0.50 modérément trié	0.20 Surreprésentation des fines
Mi plage	2.43 fin	0.38 bien trié	- 1.69 Forte surreprésentation des grossiers
Bas de plage	1.44 moyen	1.28 mal trié	- 0.68 Forte surreprésentation des grossiers
Profil 3 - Legenelesse			
Haut de plage	0.39 grossier	0.74 modérément trié	0.26 Surreprésentation des fines
Mi plage	2.51 fin	0.28 très bien trié	- 0.48 Surreprésentation des fines
Bas de plage	2.52 fin	0.41 bien trié	- 1.78 Forte surreprésentation des grossiers
Profil 4 - Carnac			
Haut de plage	1.38 moyen	0.79 modérément trié	0.11 Surreprésentation des fines
Mi plage	2.58 fin	0.41 bien trié	- 2.04 Forte surreprésentation des grossiers
Bas de plage	1.19 moyen	1.75 mal trié	- 0.44 Forte surreprésentation des grossiers
Profil 5 - Men du			
Haut de plage	0.26 grossier	0.80 modérément trié	0.75 Forte surreprésentation des fines
Mi plage	0.55 grossier	1.15 mal trié	0.12 Surreprésentation des fines
Bas de plage	0.67 grossier	0.89 modérément trié	- 0.04 -

Tableau III.19: Résultats des analyses granulométriques réalisées en baie de Quiberon (Secteur Carnac).

Les valeurs obtenues pour les indices d'asymétrie témoignent d'une surreprésentation des grains fins au sein des prélèvements effectués en haut de plage, qui pourrait résulter d'un transport éolien sur l'estran. A l'inverse, les dépôts analysés en bas et milieu de plage sont caractérisés par une forte proportion de grains plus grossiers (Tableau III.19).



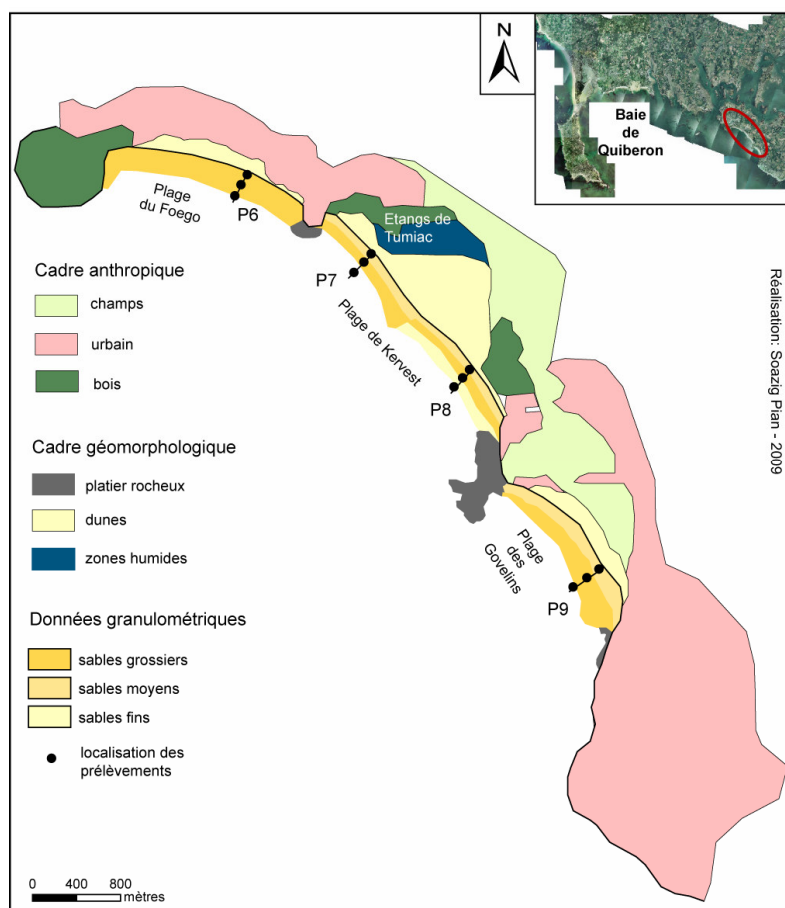
*Carte III.8: Cartographie de la couverture sédimentaire des estrans de la baie de Quiberon - Secteur Carnac.*

### III.2.2. Secteur Sud-Est

Dans le secteur Sud-Est, la granulométrie des plages est dominée par les éléments grossiers (Tableau III.20). En effet, la taille moyenne du diamètre des sédiments prélevés sur l'estran varie de 2.56 à -0.33 phi. Les éléments les plus fins sont des sables fins que l'on retrouve en bas de plage à Kervest (Carte III.9). Ailleurs, le bas et le milieu de plage sont composés de sables grossiers, alors qu'en haut de plage dominent les sables moyens, excepté sur la plage du Foego où le haut de plage est également caractérisé par des sables grossiers.

D'une manière générale, les échantillons prélevés sont modérément triés et enregistrent pour la plupart un enrichissement en particules fines, excepté pour le haut de la plage de Tumiatic et le bas de plage de Kervest où les valeurs obtenues pour l'indice adimensionnel d'asymétrie ( $Sk$ ), respectivement - 0.45 et -0.86, témoignent d'un enrichissement en éléments grossiers. Ces données laissent suggérer l'existence d'un transit sédimentaire mobilisant les éléments les plus fins, et favorisant leur dépôt le long des plages étudiées.





Carte III.9: Cartographie de la couverture sédimentaire des estrans de la baie de Quiberon - Secteur Sud-Est.

	Diamètre moyen en phi	Indice adimensionnel de tri	Indice adimensionnel d'asymétrie
Profil 1 - Foego			
Haut de plage	0.94 grossier	0.55 modérément trié	0.15
Mi plage	- 0.19 grossier	0.49 modérément trié	1.18 Forte surreprésentation des fines
Bas de plage	- 0.73 grossier	0.70 modérément trié	1.11 Forte surreprésentation des fines
Profil 2 - Tumiac			
Haut de plage	1.05 moyen	0.62 modérément trié	- 0.45 Surreprésentation des grossiers
Mi plage	- 0.43 grossier	0.99 modérément trié	1.53 Forte surreprésentation des fines
Bas de plage	- 0.33 grossier	1.29 Peu trié	1.05 Forte surreprésentation des fines
Profil 3 - Kervest			
Haut de plage	1.12 moyen	0.63 modérément trié	0.12
Mi plage	1.001 moyen	0.69 modérément trié	1.31 Forte surreprésentation des fines
Bas de plage	2.56 fins	0.86 Peu trié	- 0.86 Forte surreprésentation des grossiers
Profil 4 - Goveilins			
Haut de plage	1.23 moyen	0.64 modérément trié	0.10
Mi plage	1.17 moyen	0.62 modérément trié	- 0.003
Bas de plage	0.80 grossier	0.71 modérément trié	- 0.09

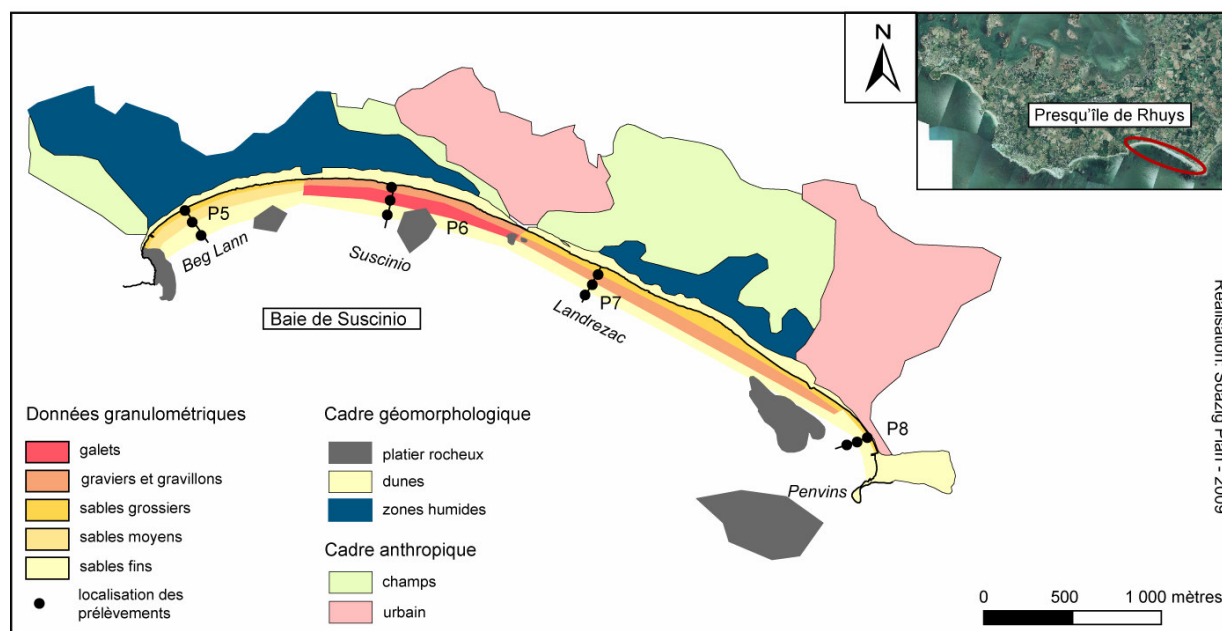
Tableau III.20: Résultats des analyses granulométriques réalisées en baie de Quiberon (Secteur Sud-Est).

### III.3. Les plages de l'anse de Suscinio

Pour les plages de la Presqu'île de Rhuys, les analyses granulométriques ont été concentrées sur l'anse de Suscinio, entre les pointes de Beg Lann et de Penvins. Les prélèvements ont été effectués en Octobre 2008, à étales de basse mer, avec une houle au large orientée Ouest Nord-Ouest.

La carte III.10 représente la distribution spatiale du diamètre moyen des sédiments prélevés dans ce secteur. D'une manière générale, en haut et milieu de plage, la granulométrie est assez grossière. En effet, à l'Ouest et à l'Est de la baie, le haut de plage est composé de sables grossiers, et au centre, de graviers et de gravillons. En milieu de plage, la granulométrie est caractérisée d'Ouest en Est, par des plaquages de sables moyens, des galets et des graviers / gravillons. En bas de plage, la granulométrie est plus fine, caractérisée par des sables fins.

La plupart des prélèvements analysés sont peu ou mal triés, excepté au niveau des milieux de plage de Suscinio et de Landrezac où les sédiments sont bien triés. En outre, l'analyse de l'indice adimensionnel d'asymétrie ( $Sk$ ) a mis en évidence une surreprésentation des grains plus fins que la moyenne en haut de plage et milieu de plage, excepté à l'Ouest au niveau de Beg Lann où  $Sk$  est négatif, traduisant une surreprésentation des particules grossières.



Carte III.10: Cartographie sédimentaire des estrans de l'anse de Suscinio - Presqu'île de Rhuys -

Sur l'ensemble du secteur, le bas de plage est caractérisé par une forte proportion d'éléments grossiers par rapport à une distribution log-normale de la taille des grains contenus dans l'échantillon (Tableau III.21).

Compte tenu de la morphologie du secteur, il est possible que cette forte proportion en particules plus grossières soit dans une certaine mesure contrôlée par le transport vers la côte des sédiments générés par l'abrasion des platiers situés au large de la côte. Les apports des particules fines en haut de plage pourraient résulter du tri effectué par les agents de transport éolien et hydrodynamique dans la zone inter et sub-tidale.

	Diamètre moyen en phi	Indice adimensionnel de tri	Indice adimensionnel d'asymétrie
Profil 1 - Beg Lann			
Haut de plage	1.31 moyen	0.93 Modéremment trié	- 0.91 Forte surreprésentation des grossiers
Mi plage	2.03 fin	1.50 Peu trié	- 1.16 Forte surreprésentation des grossiers
Bas de plage	2.49 fin	0.70 Modéremment trié	- 1.62 Forte surreprésentation des grossiers
Profil 2 - Suscinio			
Haut de plage	- 0.47 grossier	1.31 Peu trié	0.74 Surreprésentation des fines
Mi plage	- 1.25 gravier-gravillon	0.45 Bien trié	2.76 Surreprésentation des fines
Bas de plage	2.10 fin	1.23 Peu trié	- 2.26 Forte surreprésentation des grossiers
Profil 3 - Landrezac			
Haut de plage	0.08 grossier	1.22 Peu trié	0.47 Surreprésentation des fines
Mi plage	- 1.31 gravier-gravillon	0.44 Bien trié	2.48 Forte surreprésentation des fines
Bas de plage	2.75 fin	0.57 Modéremment trié	- 1.34 Forte surreprésentation des grossiers
Profil 4 - Penvins			
Haut de plage	0.24 grossier	0.96 Modéremment trié	0.95 Forte surreprésentation des fines
Mi plage	2.37 moyen	1.00 Modéremment trié	- 1.79 Forte surreprésentation des grossiers
Bas de plage	2.08 moyen	1.19 Peu trié	- 1.15 Forte surreprésentation des grossiers

Tableau III.21: Résultats des analyses granulométriques réalisées en Presqu'île de Rhuy - Secteur Suscinio

Synthèse générale:

Les analyses granulométriques ont permis de cartographier, de manière ponctuelle, la couverture sédimentaire des estrans des plages de Bretagne Sud.

Les plages du massif dunaire sont caractérisées par une granulométrie plus fine au Sud qu'au Nord. Dans la baie de Quiberon, les plages situées au centre de la baie sont essentiellement composées de sables moyens à fins. Seule la plage de Légenesse est caractérisée par des sables plus grossiers (Carte III.8). Les plages situées au Sud-Est sont caractérisées par une granulométrie plus grossière (Carte III.9). Ces plages sont situées dans une position moins abritée. Elles sont exposées à des conditions d'agitation plus énergétiques. Dans l'anse de Susicinio, les sédiments les plus fins sont situés à l'Ouest et à l'Est de l'anse (Carte III.10). Les éléments plus grossiers tels que les graviers, gravillons et les galets sont déposés au centre de l'anse.

Sur l'ensemble des sites étudiés, les valeurs obtenues pour chacun des indicateurs granulométriques mettent en évidence différents comportements, sur le court terme, de la masse sédimentaire composant les plages. D'une manière générale, les plages du massif dunaire Gâvres – Penthievre, exposées à l'action des houles océaniques, sont composées de matériels sédimentaires moyens et grossiers, bien triés. Dans les espaces plus abrités des houles, les sédiments sont bien triés, notamment dans les sites de dépôts comme au centre de la baie de Quiberon (Carnac). A l'inverse, dans les sites où l'action des courants littoraux favorise le transport plus que le dépôt, les sédiments sont mal triés. Ces sites sont bien représentés en Presqu'île de Rhuys – secteur Susicinio – et en Baie de Quiberon, au niveau de la face Est de l'isthme de Penthievre. En outre, sur une bonne partie des plages étudiées, les indices d'asymétrie mettent en évidence de fortes proportions de particules fines en haut de plage, et de particules grossières en bas de plage. Cette asymétrie dans la distribution log-normale de la taille des grains dans les échantillons analysés peut être mis en relation avec les tris résultant d'un transport éolien en haut de plage, et les apports sédimentaires résultant de l'abrasion des platiers et secteurs rocheux en bas de plage.

### Synthèse générale du chapitre 8

Ce chapitre est divisé en trois sections qui traitent chacune des résultats obtenus par les différentes analyses menées pour caractériser le fonctionnement morphologique et morphodynamique des plages de Bretagne Sud.

La première section est consacrée à la discussion des résultats de l'analyse des variations des profils de plage. Ces premiers résultats apportent des informations sur l'occurrence des transits sédimentaires, sur les plages, contribuant à leur évolution. La seconde section discute du comportement morphodynamique des plages durant chacune des périodes de suivi morphologique. Cette analyse a permis d'identifier six types de comportements morphodynamiques en Bretagne Sud. D'une manière générale, les comportements réfléchissants et intermédiaires sont dominants. En outre, le type 1 associé aux plages caractérisées par un comportement réfléchissant en haut de plage et dissipatif sur la moyenne et basse plage est représenté dans tous les systèmes côtiers étudiés. En combinant les résultats obtenus par l'analyse des profils de plages et des variations des comportements morphodynamiques, quatre contraintes apparaissent essentielles dans l'évolution des plages sur le court terme : la morphologie héritée des plages et du site, et notamment la présence de pointes rocheuses et de platiers en bas de plage, la forme du profil, l'exposition des plages par rapport aux vents les plus forts et la présence d'infrastructures telles que les murs de défense contre la mer en haut de plage.

Enfin, la troisième section développée dans ce chapitre a permis de caractériser la couverture sédimentaire des plages étudiées. La forte proportion des éléments grossiers en bas de plage renforce l'hypothèse de l'importance des platiers affleurants et des zones de roches situées dans les petits fonds dans le contrôle des mouvements sédimentaires contrôlant l'évolution des plages.

## **CHAPITRE 9 - EVOLUTION MORPHOLOGIQUE, COMPORTEMENTS MORPHODYNAMIQUES ET FONCTIONNEMENTS GEOMORPHOLOGIQUES DES SYSTEMES DUNES-PLAGES : ELEMENTS DE SYNTHESE**

Ce dernier chapitre se propose de synthétiser, à travers des modèles graphiques et des tableaux, l'ensemble des données discutées sur l'évolution et le comportement des systèmes dunes-plages à court terme (Chapitre 8) et à long terme (Chapitre 5). Ces synthèses ont pour objectif de faciliter une lecture transversale des différents éléments de discussion abordés au sein de ce travail, en replaçant dans leur contexte spatial les différentes évolutions observées sur chacun des pas de temps étudiés. L'objectif est de localiser les comportements observés à court et long termes au sein des différents systèmes dunes-plages afin d'identifier les caractéristiques de leur fonctionnement. Les synthèses réalisées se sont ainsi appuyées sur un ensemble de cartes superposant les résultats discutés au sein des chapitres 5 et 8. Dans une première partie, les résultats concernant le comportement des plages à court terme sont discutés de manière à dresser un tableau des modes de fonctionnement morphodynamique observés sur ce pas de temps. Puis, dans une seconde partie, le comportement des plages est présenté en fonction de leur localisation au sein des cellules sédimentaires discutées au chapitre 5.

### **I. SYNTHESE DES COMPORTEMENTS MORPHODYNAMIQUES A COURT TERME**

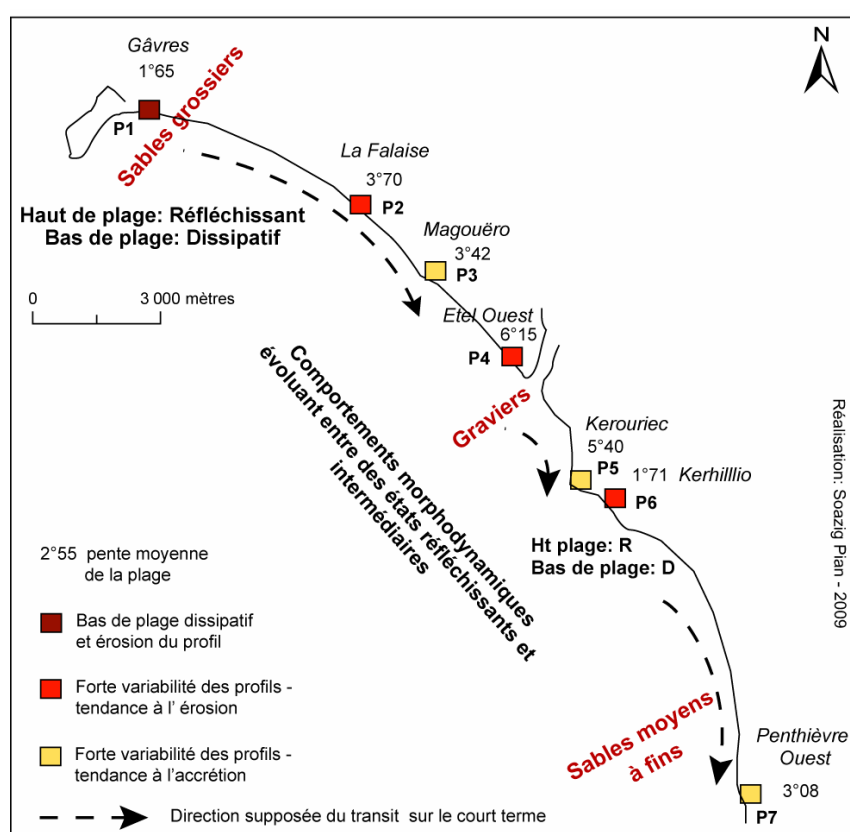
L'ensemble des données traitées au sein du chapitre 8 a été modélisé de manière graphique de manière à caractériser le comportement des systèmes littoraux sur le court terme. La discussion est organisée, pour chaque système littoral, autour de cartes mettant en relation les variations spatiales des caractéristiques granulométriques, les variations des profils de plages et les comportements morphodynamiques des plages.

#### **I.1. Le massif dunaire Gâvres - Penthievre**

Au sein du massif dunaire, à l'exception de Gâvres où le bas de plage est caractérisé par un comportement dissipatif, toutes les plages, quelque soit leur composition sédimentaire, adoptent des comportements évoluant entre des états réfléchissants et intermédiaires (et inversement) allant de pair avec une forte variabilité des profils de plage. Sur la plage de la Falaise et à Etel Ouest, l'évolution des profils révèle une érosion de la plage. A l'inverse, les plages du Magouëro, de Kerouriec et de Penthievre (Ouest) s'engraissent sur la période étudiée (Carte III.11).

Encastrées dans des zones de roches, ces plages sont prolongées, en bas de plage, par des platiers rocheux, affleurant à marée basse au Magouëro et à Kérouriec. D'une manière générale, les variations des profils, sur chaque période de suivi morphologique analysée, suggèrent l'existence d'un transit sédimentaire entre les plages de Gâvres- La Falaise – Le Magouëro, puis entre les plages d'Etel-Kérouriec et enfin entre les plages de Kerhillio et de Penthièvre Ouest.

Au centre du massif, la granulométrie est plus grossière et la pente moyenne des plages est plus importante. Sur le court terme, les profils qui ont tendance à s'engraisser sont situés au centre et au Sud du massif dunaire. Enfin, la forme du trait de côte, accroché au Nord à une pointe rocheuse, et butant au Sud sur la Presqu'île de Quiberon, décrit une courbe de type log spirale. Ce type de baie est caractéristique des côtes exposées à une houle incidente (Carter, 1999). Elle se développe entre deux pointes rocheuses, lorsque le trait de côte est battu par des houles obliques (Finkelstein, 1982, Dai, 2004) et que la plage est orientée parallèlement aux crêtes des vagues incidentes (Hsu et al., 1987). Plusieurs termes sont utilisés pour décrire ce type de configuration (Masselink et Hudges, 2003) : *log-spiral bays*, *zeta bay*, *crenulate bay*.



Carte III.11: comportement morphodynamique et évolution des plages du massif dunaire sur le court terme: éléments de synthèse.

De manière synthétique, l'ensemble des observations cartographiées sur la carte III.11 permet d'assimiler le massif dunaire à une plage de fond de baie de type *crenulate bay*, caractérisée par une courbe de type log spirale, dont le fonctionnement est dominé par les courants de dérive littorale, localement perturbés par la Ria d'Etel.

Sur le court terme, les courants de dérive littorale dominants sont orientés Sud-Est, de part et d'autre de la Ria d'Etel. En outre, les analyses granulométriques menées par Estournes et al. (2007, 2008) suggèrent que les sédiments transportés par les courants de dérive franchissent la Ria par *by passing*. Globalement, l'érosion des plages du Nord du massif dunaire favorise l'engraissement des plages situées à l'aval des courants de dérive littorale. Ce schéma est compliqué par la présence de platiers affleurants en bas de plage et de zones de roches dans les petits fonds. Sur la période étudiée, ces contraintes morphologiques semblent favoriser l'engraissement des plages sur le court terme en interrompant ou ralentissant les courants de dérive littorale et en favorisant les dépôts des sédiments. Enfin, la présence d'un mur de défense contre la mer, sur le haut des plages de Gâvres et de Penthievre pourrait également contribuer à complexifier la dynamique des plages sur le court terme et à accentuer la variabilité des profils.

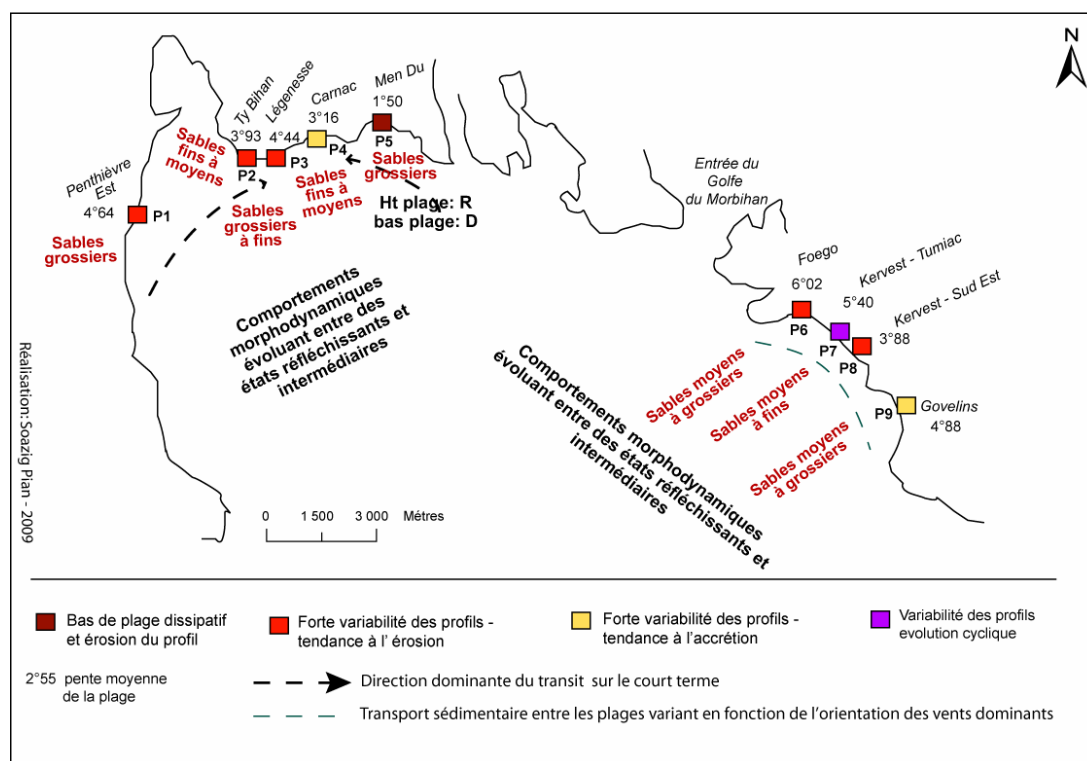
## I.2. La baie de Quiberon

Dans le secteur Ouest de la baie de Quiberon, les plages sont caractérisées par des comportements réfléchissants et intermédiaires, à l'exception du bas de plage dissipatif du Men Du.

Sur les plages de Carnac le profil tend à s'engraisser sur la période étudiée. La granulométrie est plus fine. A l'inverse, dans les secteurs où la granulométrie est plus grossière, les plages ont tendance à s'éroder entre Février 2008 et Mai 2009. Ces plages sont caractérisées par des valeurs de pente plus importantes. A l'exception de la plage du Men Du, les pentes moyennes des plages situées dans le secteur Ouest sont caractérisées par des valeurs semblables (carte III.12).

D'une manière générale, les variations des profils de plage sur la période étudiée suggèrent l'existence de transports sédimentaires alimentant, plus ou moins temporairement, les plages de Ty Bihan, Légenesse et Carnac, situées au centre de la baie. Au centre de la baie, la granulométrie plus fine des plages de Carnac et l'engraissement du profil sur la période étudiée laissent suggérer l'existence de transports sédimentaires permettant le dépôt des sables de manière plus durable.





Carte III.12: comportement morphodynamique et évolution des plages de la baie de Quiberon sur le court terme: éléments de synthèse.

Au Sud-Est du Golfe du Morbihan, les comportements des plages évoluent entre des états intermédiaires et réfléchissants. Les épisodes érosifs sont concentrés en fin de périodes estivales, excepté pour la plage de Kervest – Etang de Tumiach où les processus d'accumulation sédimentaire sont importants en fin de période hivernale. Sur ces plages, les variations du profil sont contrôlées par les variations de l'orientation des vents dominants et l'importance de la zone de fetch qui favorisent différents types de circulation sédimentaire. La plage des Gouvelins, davantage exposée Ouest, tend à s'engraisser sur la période étudiée. Les plages du Foego et de Kervest- Etang de Tumiach sont caractérisées par une granulométrie plus grossière et une pente plus forte. Au Sud-Est de la plage de Kervest, la granulométrie est plus fine et la pente moins forte.

D'une manière générale, l'ensemble des plages de la Baie de Quiberon s'apparente à des plages de fond de baie, encastrées entre des pointes rocheuses. Conformément aux schémas de fonctionnement décrits dans la littérature, la pente de la plage est plus importante dans les secteurs caractérisés par une granulométrie grossière (Carter, 1999, Masselink et Hedges, 2003). Les sédiments sont plus fins dans les espaces plus abrités. A l'exception de la plage du Men Du, les valeurs de pente moyennes sont comprises entre 3° et 6°. Les interactions entre la morphologie des plages et les contraintes hydrodynamiques contrôlant l'évolution des plages favorisent la mise en place de comportements intermédiaires, voir réfléchissants.

Sur la période étudiée, les transits sédimentaires semblent fortement dépendants de l'orientation des vents dominants. Cette forte dépendance par rapport aux variations de l'orientation des vents s'explique par l'importance de la zone de fetch qui permet la mise en place d'une houle locale, dont la réfraction favorise des courants de dérive littorale variant selon l'orientation des vents (*Jussy et Guilcher, 1962*). Sur l'ensemble de la baie, l'influence des courants de marée est modérée. Toutefois, au niveau de l'entrée du Golfe, les vitesses élevées des courants de marée (Chapitre 1) peuvent induire un flux sédimentaire orienté vers le Nord Est lors du flot et le Nord-Ouest lors du jusant. Ce dernier point pourrait faire l'objet d'analyses ultérieures. Sur le court terme, le comportement des plages de la baie de Quiberon paraît ainsi largement contrôlé par la morphologie du site et l'importance de la zone de fetch qui déterminent la mise en place des courants littoraux et les schémas de transports sédimentaires. Au centre de la baie, la plupart des plages sont adossées à un mur de défense contre la mer. L'incidence de ces murs sur l'évolution des profils est difficile à établir. Sur la plage de Ty Bihan, le profil enregistre une forte variabilité.

### **I.3. La Presqu'île de Rhuys**

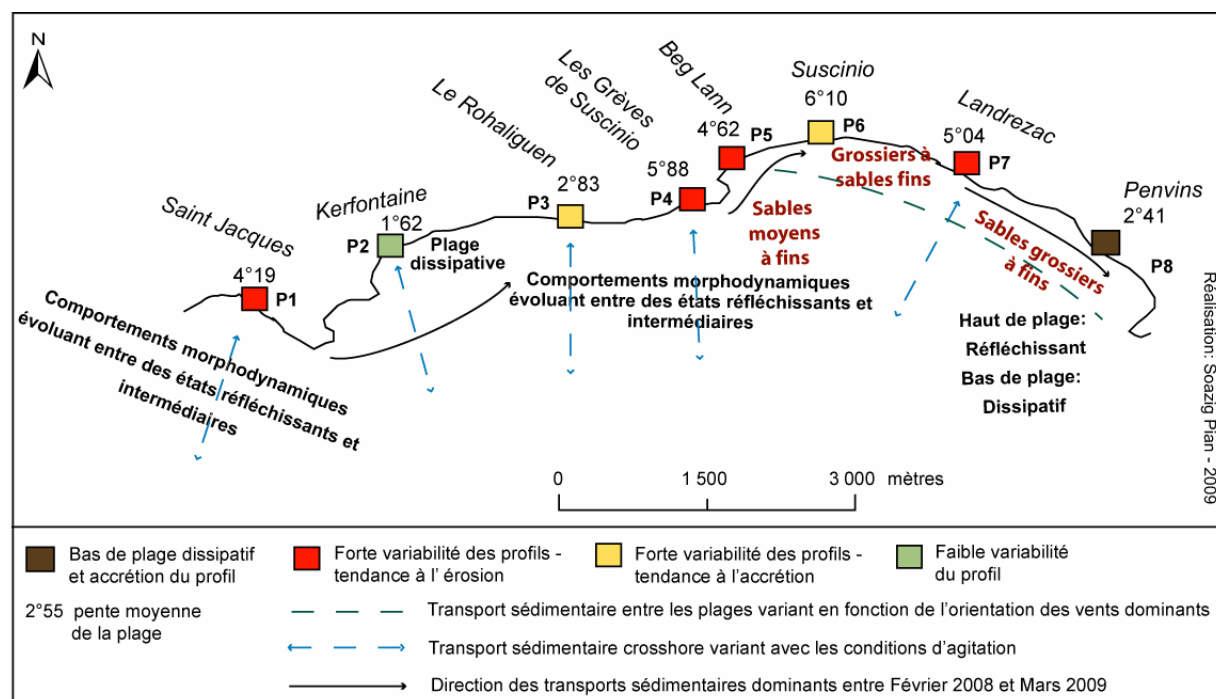
En Presqu'île de Rhuys, les plages sont caractérisées par des comportements intermédiaires (type 3 et type 4) à réfléchissants, excepté à Kerfontaine et Penvins. Ces comportements morphodynamiques dépendent de la forme du profil, elle-même liée aux variations granulométriques le long du linéaire côtier étudié. A Saint-Jacques et au Rohaliguen, les plages sont caractérisées par des comportements morphodynamiques de type 5, reflétant une forte variabilité des profils qui favorisent respectivement l'érosion et l'accrétion des plages (Carte III.13).

La forte discontinuité du trait de côte de part et d'autre de la pointe de Beg Lann rend difficile une interprétation du fonctionnement des plages de Saint Jacques, Kerfontaine, le Rohaliguen et des Grèves de Suscinio dans un ensemble morphologique cohérent. Ces plages présentent des configurations morphologiques très différentes. Les pentes moyennes varient de 1°62 à 5°88. Sur le court terme, les variations des profils de ces plages semblent, pour partie, répondre aux variations des conditions d'agitation qui favorisent un transport *onshore* pendant les périodes de beau temps, et un transport *offshore* durant les périodes plus agitées. L'analyse des variations des profils de plage suggère toutefois l'existence d'un transit sédimentaire le long des platiers, dépendant des courants générés par la réfraction des houles et de la mer de vent.

L'anse de Suscinio présente un ensemble morphologique plus cohérent au sein duquel les données discutées au chapitre 8 permettent de formuler des hypothèses sur les schémas de circulation contrôlant l'évolution des plages sur le court terme.

Les pentes moyennes des plages les plus fortes sont situées au centre de la baie. Elles sont associées aux granulométries les plus grossières. A Suscinio, où la pente moyenne de la plage est supérieure à  $6^\circ$ , la plage est composée de sables en haut et milieu de plage. Ces plages s'apparentent ainsi à des plages de fond de baie, alignées aux crêtes des vagues incidentes (*Finkelstein, 1982*), dont l'évolution est pour partie contrôlée par les courants de dérive littorale. En raison de l'importance de la zone de fetch, ces courants de dérive littorale sont étroitement dépendants des variations de l'orientation des vents les plus violents pouvant conduire à des inversions de dérive littorale d'une période de suivi morphologique à l'autre. L'évolution des profils est également influencée par l'occurrence de transport *crosshore*, dont la direction varie selon les conditions d'agitation.

Enfin, l'impact des ouvrages de défense contre la mer sur l'évolution des profils pose également question. Les plages de Saint Jacques, Landrezac et Penvins sont adossées à des murs de défense contre la mer. L'évolution des plages de Saint Jacques et Landrezac est marquée par les plus fortes variabilités des profils alors que le haut de plage de Penvins adopte un comportement réfléchissant, contrastant avec le caractère dissipatif du reste de l'estran. Le comportement de la plage de Penvins est semblable à celui observé sur la plage de Gâvres, au sein du massif dunaire, ou sur la plage du Men Du au sein de la baie de Quiberon. Ces deux plages sont également adossées à des murs de défenses contre la mer.



Carte III.13: comportement morphodynamique et évolution des plages de la Presqu'île de Rhuy sur le court terme: éléments de synthèse

Synthèse générale:

La synthèse, pour chaque système littoral, des résultats présentés et discutés au sein du chapitre 8, a permis de dégager les grandes lignes du comportement morphodynamique des plages étudiées.

D'une manière générale, l'évolution des plages décrite par les variations des profils et des comportements morphodynamiques apparaît dépendante de l'occurrence des courants de dérive littorale qui contribuent à redistribuer les sédiments au sein des systèmes littoraux étudiés en fonction de l'orientation des houles et des vents dominants. En Baie de Quiberon et dans l'anse de Suscinio, l'occurrence des courants de dérive littorale est fortement dépendante de l'orientation des vents dominants en raison de l'importance de la zone de fetch. L'occurrence de transports *crossshore*, associés à l'alternance de périodes caractérisées par des conditions d'agitation modale ou plus agitée contribue également à expliquer l'évolution des plages.

La présence d'ouvrage de défense contre la mer en haut de plage pourrait également interférer avec les variations des profils et le comportement des plages sur le court terme. Les plages adossées à un mur partagent des caractéristiques communes. La plupart d'entre elles, comme Gâvres, Penthièvre Ouest, Penthièvre Est, Ty Bihan, Saint Jacques ou Landrezac sont caractérisées par une variabilité plus importante que celle observée sur les plages adjacentes. Dans la baie de Quiberon elles sont caractérisées par une érosion du profil. A Gâvres, au Men Du et à Penvins, elles sont caractérisées par un haut de plage réfléchissant et un bas de plage dissipatif. Compte tenu de la complexité des échanges sédimentaires contrôlant l'évolution des plages, il est difficile d'attribuer à la présence du mur une causalité spécifique contrôlant l'évolution des profils. Toutefois, ces observations suggèrent l'occurrence d'interactions entre contraintes anthropiques et contraintes naturelles dans le fonctionnement des plages sur le court terme.

Enfin, pour chacun des systèmes littoraux étudiés, l'irrégularité du trait de côte, marquée par de nombreuses pointes et platiers rocheux, contribue à complexifier les échanges sédimentaires entre les plages. Au sein de chaque système dunes-plages étudié, des affleurements rocheux sont présents sur la basse plage. Ils se prolongent parfois dans les petits fonds, marqués par la présence de zones de roches. L'ensemble de ces contraintes morphologiques interfèrent avec les processus de transports sédimentaires entre les plages, favorisent temporairement les logiques d'accumulation sur certaines plages et entravent l'alimentation en sédiment des plages situées à l'aval de ces obstacles morphologiques. Sur les plages de la Presqu'île de Rhuys, sur les Grèves de Suscinio ou à Landrezac par exemple, ces affleurements rocheux forment de véritables épis sur la basse plage. L'analyse des variations des profils laisse toutefois suggérer l'existence d'un transit sédimentaire longitudinal et d'un échange entre les plages par *by passing*.

Les plages de Bretagne Sud s'apparentent ainsi à des plages de poches entre lesquelles les processus d'échanges sédimentaires sont complexes. Des études complémentaires, basées sur un suivi topographique à haute résolution spatiale et temporelle et une mesure *in situ* des conditions d'agitation à la côte, seraient nécessaires pour affiner l'analyse du comportement des plages. Les éléments discutés au sein des chapitres 8 et 9 permettent toutefois de présenter les types de plages constituant les systèmes côtiers étudiés et d'identifier les types de forçages contrôlant leurs évolutions sur le court terme.

## II. SYNTHÈSE DES COMPORTEMENTS A COURT ET LONG TERMES

L'objectif de cette dernière partie est d'effectuer une synthèse des principales caractéristiques marquant le fonctionnement des systèmes côtiers Sud bretons sur différents pas de temps. Cette synthèse a pour objectif de comparer les évolutions observées sur le court terme avec celles mesurées sur le long terme. Les informations discutées au sein de ce mémoire de doctorat ne permettent pas d'établir des liens de causalités entre les évolutions observées à long, moyen et court termes. La superposition, sur de mêmes documents graphiques des évolutions discutées sur chacun de ces pas de temps a essentiellement pour objectif de dresser un tableau des différents modes de comportements contrôlant l'évolution des systèmes côtiers. Ce travail s'inscrit ainsi avant tout dans une perspective descriptive de synthèse. L'analyse cherche uniquement à dégager les grands traits des différents modes de fonctionnement des systèmes dunes-plages étudiés afin de mettre en évidence leurs caractéristiques communes et leurs différences.

### II.1. Le massif dunaire Gâvres – Penthievre

Le comportement géomorphologique du massif dunaire, sur le long terme, est dominé par les courants de dérive littorale qui redistribuent les sédiments du Nord vers le Sud-Est. La présence d'obstacles morphologiques et les variations de l'orientation du trait de côte conduisent à perturber ce schéma de transport sédimentaire et à diviser le massif dunaire en différentes sub-cellules, entre lesquelles les sédiments transitent par *by passing* (Chapitre 5). Par ailleurs, la mobilité du front dunaire et le recul des falaises de Gâvres, sur le long et moyen terme, sont contrôlés par l'action conjointe de contraintes anthropiques et naturelles dont les interactions contribuent à complexifier l'analyse du recul du trait de côte et de la vulnérabilité du littoral face au risque d'érosion côtière (Chapitre 6). Ce mode de fonctionnement se traduit par une évolution du trait de côte caractérisée par une alternance de périodes où dominent les processus d'érosion et d'accrétion.

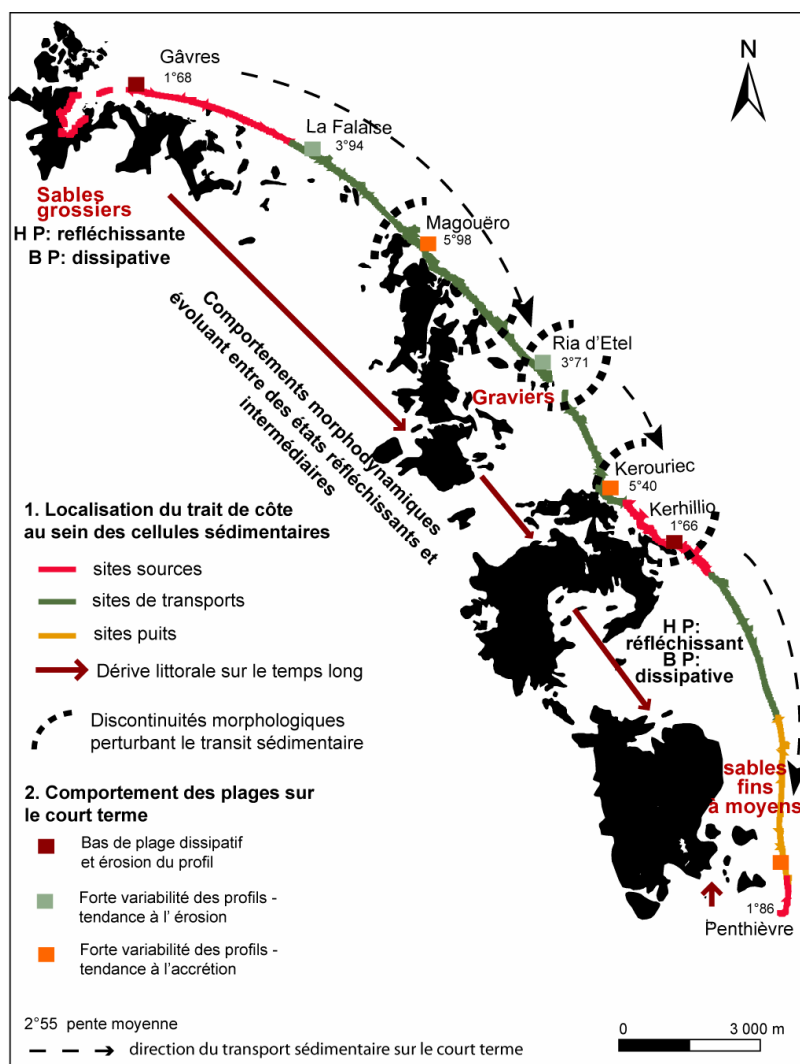
Sur le court terme, l'analyse des variations des profils de plages a permis de mettre en évidence l'existence d'un transit sédimentaire entre les plages, orienté Sud-Est. Les transports sédimentaires sont contraints par la morphologie du site, l'orientation du trait de côte par rapport aux houles et vents dominants et les courants littoraux provoqués par la réfraction des houles au large. Le comportement des plages est caractérisé par une forte variabilité interannuelle et saisonnière, qui se traduit par des modifications importantes des profils, à l'exception de la plage de Kerhillio. Pour la plupart des plages, cette forte variabilité est associée à une migration de leur comportement morphodynamique, entre des états réfléchissants et intermédiaires. Elle est globalement associée à un engraissement du profil des plages du Magouëro, de Kerouriec et de Penthievre Ouest, et, à un amaigrissement des profils des plages de la Falaise et d'Etel Ouest. Seuls les bas de plage de Gâvres et de Kerhillio sont caractérisés par des comportements morphodynamiques dissipatifs. Ces différences de comportements sont à mettre en relation avec la forme du profil des plages, caractérisée par une rupture de pente très proche du haut de plage (Chapitre 8).

La carte III.14 met en relation le comportement des plages, sur le court terme, avec la position du trait de côte au sein des cellules sédimentaires. Les plages situées dans les sites de transits et les sites puits observent des comportements semblables. A l'inverse, les plages de Gâvres et de Kerhillio se distinguent par une forme du profil et un comportement du bas de plage différents sur le court terme. Elles sont toutes deux situées dans des sites sources.

Le tableau III.22 synthétise, pour chaque pas de temps, l'évolution du trait de côte et le comportement des profils de plage observés sur le court terme, en fonction de la position du trait de côte au sein des cellules sédimentaires.

Dans les sites sources, l'évolution du sommet des falaises et du front dunaire est dominée par des processus d'érosion, sur chaque intervalle de temps étudié (Chapitre 5). Ces secteurs correspondent principalement aux falaises de Gâvres, à la plage de Gâvres et à la plage de Kerhillio. Le recul du sommet des falaises de Gâvres et du front dunaire résulte de l'action combinée de contraintes naturelles et anthropiques (Chapitre 6). Sur le court terme, ces plages sont caractérisées par un comportement morphodynamique dissipatif en bas de plage et réfléchissant en haut de plage. Entre Mars 2008 et Juin 2009, le profil est érodé. Autrement dit, en amont des courants de dérive littorale, dans les sites sources, l'évolution du trait de côte sur le moyen et long terme et l'évolution des plages sur le court terme sont toutes deux marquées par l'occurrence de processus érosifs.

Dans les sites de transport, l'évolution du front dunaire est dominée par une alternance spatiale de processus érosifs et d'accrétion. Sur les pas de temps 1952-2004 et 1985-1999, les processus d'accrétion dominant largement (Chapitre 5).



Carte III.14 : Comportement des plages du massif dunaire Gâvres - Penthièvre en fonction de la localisation du trait de côte au sein des cellules sédimentaires

Sur le court terme, le comportement des plages varie entre des états morphodynamiques réfléchissants et intermédiaires. L'évolution du profil de plage est caractérisée par une forte variabilité se traduisant par un amaigrissement ou une érosion du profil (Chapitre 8).

Dans les sites puits, l'évolution du front dunaire est dominée par des processus d'accrétion, notamment entre 1952-2004 et 1985-1999. Sur les autres pas de temps, le recul du front dunaire pourrait être lié à certaines contraintes anthropiques, et plus particulièrement à une augmentation de la concentration des pressions exercées sur la dune à travers la multiplication des chemins côtiers (Chapitre 5 – Chapitre 6). Sur le court terme, le comportement de la plage de Penthièvre Ouest varie entre des états morphodynamiques réfléchissants et intermédiaires. Sur la période étudiée, l'évolution du profil traduit un engraissement de la plage (Chapitre 8).

Ainsi, en aval des courants de dérive, dans les sites de transits et les sites puits, l'évolution du front dunaire est dominée par une alternance spatiale et temporelle de processus d'érosion et d'accrétion. Sur la période 1952 – 2004, les processus d'accrétion dominent nettement dans les sites puits. Sur les pas de temps plus récents, le recul du front dunaire est plus important (Chapitre 5). Dans les sites de transports et les sites puits, l'occurrence des processus érosifs est souvent associée à une forte concentration des pressions anthropiques. Toutefois, l'ensemble des interventions anthropiques est également associé à un engraissement du haut de plage et à une progradation du front dunaire sur certains pas de temps, notamment entre 1985 et 1999 (Chapitre 6). Sur le court terme, les plages adoptent des comportements semblables, marqués par une forte variabilité traduisant une migration entre des états morphodynamiques réfléchissants et intermédiaires. Dans les sites puits, la granulométrie est plus fine, et le profil de la plage de Penthievre Ouest tend à s'engraisser sur la période étudiée (Février 2008 – Juin 2009).

	<b>Sites sources</b>	<b>Sites de transport</b>	<b>Sites puits</b>
<b>1952 – 2004</b>	Recul du trait de côte (faibles valeurs pour les falaises).	Progradation du trait de côte et recul local du front dunaire	Prédominance des processus d'accrétion
<b>1952 – 1985</b>	Recul du trait de côte (faibles valeurs pour les falaises).	Alternance spatiale des surfaces en érosion et en accrétion associée à des contraintes naturelles.	Progradation du front dunaire et mise en place de formes locales d'abrasion anthropiques
<b>1985 – 1999</b>	Recul du trait de côte (faibles valeurs pour les falaises)	Prédominance des processus d'accrétion	Prédominance des processus d'accrétion
<b>1999 – 2000</b>	Recul du trait de côte	Alternance spatiale des surfaces en érosion et en accrétion	Alternance spatiale des surfaces en érosion et en accrétion et mise en place de formes locales d'abrasion anthropiques
<b>2000 – 2004</b>	Recul du trait de côte	Alternance spatiale des surfaces en érosion et en accrétion. Prédominance des mouvements de recul du trait de côte	Alternance spatiale des surfaces en érosion et en accrétion.
<b>Comportements des plages sur le court terme (2007 – 2009)</b>	Haut de plage réfléchissant/ Bas de plage dissipatif. Gâvres : forte variabilité du profil de plage. Kerhillio : faible variabilité du profil de plage.	Comportements variables, réfléchissants à intermédiaires. Engraissement ou érosion du profil de plage	Comportements variables, réfléchissants à intermédiaires. Engraissement du profil de plage.

*Tableau III.22 : Synthèse du comportement à court et long termes des plages et du front dunaire du système dune-plage Gâvres - Penthievre.*



## Synthèse

L'évolution des formes littorales constituant le massif dunaire Gâvres-Penthièvre est principalement contrôlée, à différentes échelles spatio-temporelles, par l'orientation des courants de dérive littorale, orientés vers le Sud-Est quelque soit le pas de temps étudié. Il en résulte que le concept de cellule sédimentaire explique relativement bien le comportement géomorphologique du système côtier sur les différentes échelles de temps et d'espace étudiées. Les évolutions observées sur le court, moyen et long terme sont cohérentes entre elles. L'analyse des variations du trait de côte permet d'assimiler le massif dunaire à une vaste cellule sédimentaire, divisée en trois sous-cellules entre lesquelles des échanges sédimentaires sont possibles. Sur le court terme, l'analyse des variations des profils de plage conduit à fragmenter davantage les cellules en raison de l'importance des obstacles morphologiques qui perturbent, contraignent ou ralentissent les échanges sédimentaires entre les plages. Toutefois, les dynamiques littorales à l'œuvre sur ces différentes échelles de temps et d'espace restent contrôlées par les mêmes logiques, à savoir un transport longitudinal des sédiments vers le Sud-Est. La cohérence entre les modes de fonctionnement identifiés sur le long et le court termes s'explique en partie par la morphologie et la situation du massif dunaire. Bien que la présence de hauts fonds au large contribue à amortir l'énergie des houles à la côte (Chapitre 1), le massif dunaire s'apparente à une côte exposée à la houle. Le trait de côte est orienté Sud-Ouest. Les houles les plus fréquentes et les plus fortes proviennent majoritairement d'un large quart Sud-Ouest/ Nord-Ouest (Chapitre 1). Il en résulte un transport sédimentaire majoritairement orienté vers le Sud-Est alors que la complexité de la morphologie de la côte contribue à segmenter les échanges sédimentaires entre les plages. Par ailleurs, sur le long et moyen termes, les analyses discutées au sein des chapitres 5 et 6 ont permis de mettre en évidence le rôle des contraintes anthropiques dans le fonctionnement du système côtier. Les logiques d'érosion et d'accrétion, animées par les dynamiques littorales, interfèrent avec les concentrations des contraintes anthropiques exercées sur le trait de côte. Entre 1985 et 1999, les actions entreprises en vue d'aménager l'espace littoral favorisent l'engraissement du haut de plage, la stabilisation ou la progradation du massif dunaire. Sur les autres pas de temps étudiés, la concentration des pressions exercées sur la frange littorale à travers la multiplication des surfaces urbanisées, du nombre de chemins côtiers et l'augmentation de la fréquentation des sites conduit à la formation de formes locales d'abrasion, au niveau du front dunaire. Sur le court terme, les effets de contraintes anthropiques sont plus difficilement mis en évidence. La présence d'un mur à Gâvres pourrait expliquer le comportement réfléchissant du haut de plage alors que le reste de l'estran adopte un comportement dissipatif. La présence du mur pourrait également être mise en relation avec la forte variabilité du profil sur cette plage, ainsi que sur celle de Penthièvre Ouest.

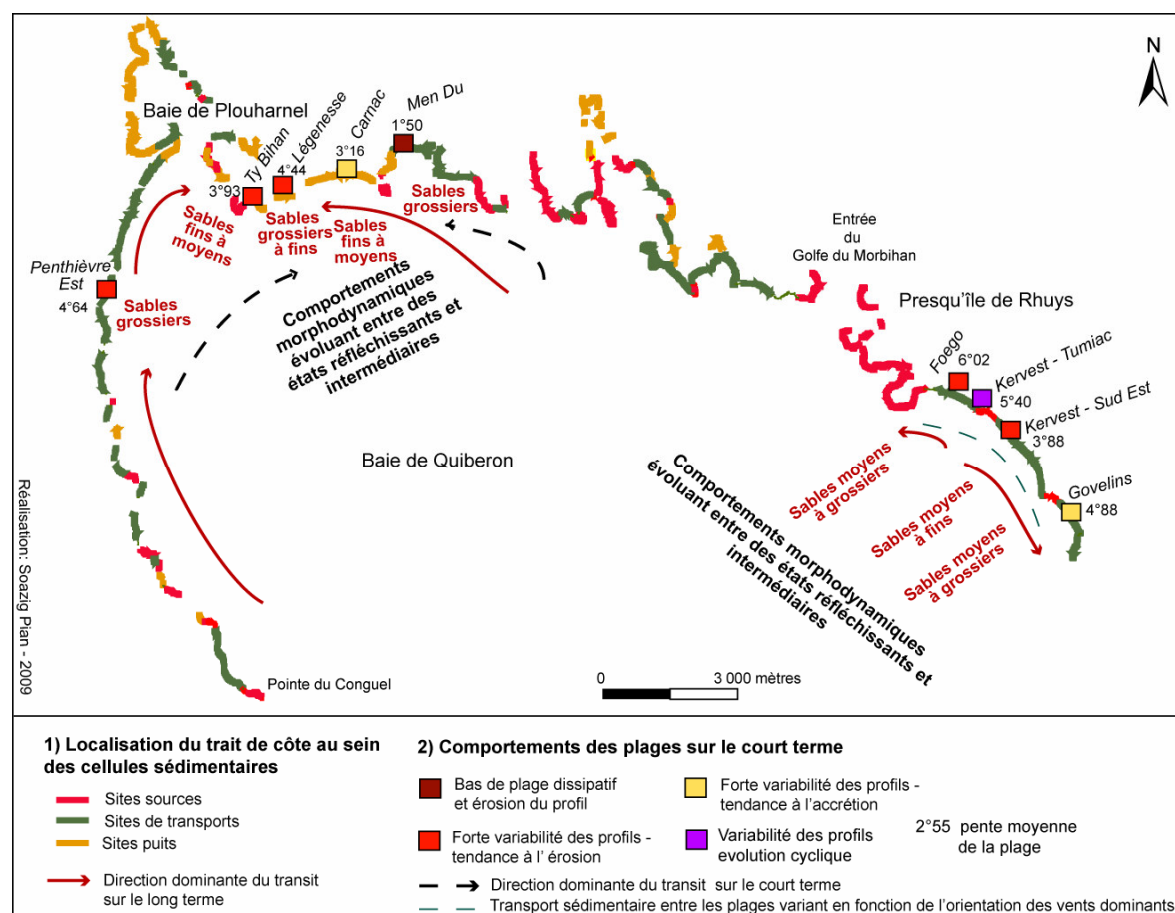
## II.2. La baie de Quiberon

Sur le long terme, l'évolution du trait de côte, au sein de la baie de Quiberon, est caractérisée par une alternance de périodes où dominent les processus d'érosion et d'accrétion conduisant au recul et à la progradation du front dunaire et des surfaces couvertes par les schorres. Les mouvements du trait de côte sont dépendants des schémas de circulation sédimentaire qui se mettent en place entre les plages, eux-même contrôlés par la morphologie de la baie, la sinuosité du trait de côte, l'importance de la zone de fetch et la bathymétrie (Chapitre 5). L'ensemble de ces contraintes contribue à segmenter la baie en différentes sub-cellules, alimentées localement par le recul des falaises meubles, et caractérisées par différents degrés d'exposition aux houles et vents dominants. Entre les pointes rocheuses et les sub-cellules, les sédiments sont susceptibles de transiter par *by passing*. Toutefois, les parties Ouest et Sud-Est de la baie semblent davantage déconnectées. Sur le temps long (1952 – 2004), les schémas de transports dominants favorisent le dépôt des sédiments au niveau de la baie de Plouharnel et des plages de Carnac (Chapitre 5). Ces processus d'accumulation sédimentaire se traduisent par une progradation des surfaces couvertes par les schorres et du front dunaire. La mobilité des formes littorales sur le long et moyen terme est également dépendante de l'évolution des concentrations des pressions anthropiques exercées sur le trait de côte (Chapitre 6).

Sur le court terme, le comportement des plages de la baie de Quiberon évolue entre des états réfléchissants et intermédiaires, à l'exception du bas de la plage du Men Du, caractérisé par un comportement dissipatif. Ce comportement est à mettre en relation avec la forme du profil de ces plages, caractérisée par une rupture de pente bien marquée. En outre, sur ces deux plages, la granulométrie est dominée par des éléments grossiers (Chapitre 8). La variabilité des profils de plage traduit l'occurrence, sur le court terme, de transports sédimentaires étroitement dépendants de l'orientation des vents dominants en raison de l'importance spatiale de la zone de fetch. Entre Février 2008 et Mai 2009, ces schémas de transports favorisent l'engraissement de la plage de Carnac à l'Ouest de la baie, et l'engraissement de la plage des Govelins au Sud-Est de la baie entre Juin 2008 et Juin 2009.

La carte III.15 met en relation le comportement des plages, sur le court terme, avec la position du trait de côte, identifiée au chapitre 3, au sein des cellules sédimentaires. A partir de cette carte, il est difficile de différencier des types de comportements de plages, sur le court terme, en fonction de leur position par rapport aux courants de dérive littorale. Il convient de souligner toutefois que les schémas de circulation sédimentaire, à l'Ouest de la baie, sont globalement orientés dans la même direction sur les différentes échelles de temps étudiées.

Le tableau III.23 permet d'affiner cette analyse, en mettant en relation, pour chaque pas de temps, l'évolution du trait de côte et le comportement des profils de plage observés sur le court terme, en fonction de la position du trait de côte au sein des cellules sédimentaires.



*Carte III.15 : Comportement des plages de la baie de Quiberon en fonction de la localisation du trait de côte au sein des cellules sédimentaires*

Dans les sites de transport, l'évolution du trait de côte est marquée par une alternance spatiale et temporelle de processus d'érosion et d'accrétion sur les différents intervalles de temps étudiés (Chapitre 5). Sur le court terme, les plages adoptent des comportements réfléchissants à intermédiaires à l'exception de la plage du Men Du. Sur la plupart des plages, la variabilité du profil s'inscrit dans une logique d'érosion (Carte III.15), excepté pour les plages de Kervest-Tumiach et des Govelins (Chapitre 8).

Dans les sites puits, l'évolution du trait de côte sur les différents pas de temps est caractérisée par une prédominance des processus d'accrétion.

Sur la période 1952 – 2004 les variations du trait de côte traduisent l'occurrence de poches locales d'érosion associée à une concentration des pressions anthropiques (Chapitre 6). Sur le court terme, les plages adoptent des comportements réfléchissants à intermédiaires (Chapitre 8). Entre Février 2008 et Mai 2009, seul le profil de la plage de Carnac est en accrétion. L'évolution des autres plages situées dans les sites sources est caractérisée par un démaigrissement du profil (Carte III.15). Ainsi, en aval des courants de dérive, dans les sites de transits et les sites puits, l'évolution du front dunaire est dominée par une alternance spatiale et temporelle de processus d'érosion et d'accrétion.

Sur les périodes 1952 – 2004 et 1985 – 2004 les processus d'accrétion dominant nettement dans les sites puits (Chapitre 5). L'occurrence des processus érosifs est souvent associée à une forte concentration des pressions anthropiques, bien que cette relation ne soit pas systématique (Chapitre 6). Sur le court terme, les plages adoptent des comportements semblables, marqués par une forte variabilité traduisant une migration entre des états morphodynamiques réfléchissants et intermédiaires. La plage de Carnac, située dans un site puits, s'engraisse entre Février 2008 et Mai 2009.

Dans la baie de Quiberon, les pointes rocheuses et les falaises meubles sont facilement identifiées à des sites sources, mais il est relativement difficile d'individualiser des plages résolument situées dans des sites sources en raison de la complexité des schémas de transports sédimentaires. Le caractère fortement dissipatif du bas de la plage du Men Du et l'érosion du profil sur le court terme rappellent le comportement des plages situées dans les sites sources, au sein du massif dunaire. Sur cette plage, le transit sédimentaire, à long et court terme, est orienté vers l'Est. Or, sur ce site, un tombolo s'est mis en place entre le haut de plage et un îlot rocheux (Chapitre 1). Le profil est levé à l'Ouest du tombolo (Chapitre 7). Le tombolo est orienté Nord – Sud. A l'Est de ce tombolo, les apports sédimentaires délivrés par les courants de dérive sont perturbés et bloqués. Dans ce contexte, l'Ouest de la plage du Men Du semble fonctionner comme un site source, marqué par un déficit sédimentaire. Sur cette plage, l'évolution du trait de côte sur le long et moyen terme est associée, localement, à des mouvements de recul.

	Sites sources	Sites de transport	Sites puits
1952 – 2004	Recul du trait de côte (faibles valeurs pour les falaises)	Progradation du trait de côte et recul local du front dunaire	Prédominance des processus d'accrétion. Localement, présence de formes d'abrasion anthropiques.
1952 – 1985	Recul du trait de côte (faibles valeurs pour les falaises)	Alternance spatiale des surfaces en érosion et en accrétion	Prédominance des processus d'accrétion
1985 – 2004	Recul du trait de côte	Progradation du trait de côte et recul local du front dunaire.	Prédominance des processus d'accrétion
Comportements des plages sur le court terme (2007 - 2009).	Comportement intermédiaire et réfléchissant, exprimant la variabilité du haut de plage.	Comportements variables, réfléchissants à intermédiaires. Engraisissement ou érosion du profil de plage.	Comportements variables, réfléchissants à intermédiaires. Engraisissement ou érosion du profil de plage.

*Tableau III.23 : Synthèse du comportement à court et long termes des entités morphologiques constituant la baie de Quiberon.*

### Synthèse :

Au sein de la baie de Quiberon, l'évolution des formes littorales sur les différentes échelles spatio-temporelles étudiées apparaît relativement bien expliquée par l'occurrence de courants de dérives littorales. En ce sens, le concept de cellule sédimentaire permet d'appréhender et d'analyser efficacement l'évolution du littoral dans ce secteur. La baie de Quiberon s'apparente à un ensemble complexe de petites cellules sédimentaires, délimitées par des pointes rocheuses ou les indentations du trait de côte. Ces sub-cellules s'inscrivent dans deux grands ensembles, faiblement connectés : l'Ouest de la baie, situé entre la pointe du Conguel et les Rias, et la partie Sud-Est située au Sud de l'entrée du Golfe du Morbihan.

Au sein de ces deux espaces, la direction des schémas de transports sédimentaires est fortement dépendante de la variabilité des vents dominants, qui en raison de la situation abritée de la baie et de l'importance de la zone de fetch, contribuent pour une large part à déterminer l'orientation des courants de dérive littorale. Ainsi, sur des pas de temps courts, l'évolution des formes littorales est susceptible d'enregistrer des mouvements reflétant la variabilité des conditions météorologiques à court terme. Combinée à la forte sinuosité du trait de côte, qui implique différents degrés d'exposition par rapport aux vents dominants à court terme, cette dépendance aux variations des conditions météorologiques explique que la délimitation des cellules sédimentaires ne soit pas fixe pas dans le temps.

Il en résulte qu'il apparaît difficile, à partir des données discutées au sein de cette étude, d'établir une cohérence entre les schémas de circulation sédimentaire observés à long, moyen et court termes. Toutefois, sur le temps long, le fonctionnement de la baie semble être dominé par des courants littoraux convergeant vers le centre de la baie et favorisant le dépôt des sables dans la baie de Plouharnel et sur les plages de Carnac. Sur le court terme, les types de circulation sédimentaire observés entre Février 2008 et Juin 2009 permettent également, en règle générale, des apports sédimentaires au centre de la baie. Toutefois, ces apports ne se traduisent pas par un engraissement régulier des profils dans la mesure où la réponse des plages aux variations de la direction des courants littoraux dépend des possibilités de transports longitudinaux entre plages adjacentes, elles-mêmes contraintes par la morphologie de la côte et de l'avant côte.

Par ailleurs, la baie de Quiberon s'apparente à un espace littoral fortement anthropisé (Chapitre 1). Les analyses discutées au sein du chapitre 6 ont permis d'examiner le rôle des contraintes anthropiques dans le fonctionnement à moyen et long termes de la baie. L'occurrence des processus érosifs dans les sites puits, notamment entre 1952 et 2004, traduit l'existence d'interactions entre les contraintes naturelles et les contraintes anthropiques. Ces observations sont également observées dans les sites de transports, sur d'autres pas de temps.

Sur le court terme, l'impact des infrastructures anthropiques établies en haut de plage sur l'évolution des profils est plus difficile à déterminer (Chapitre 8 – Chapitre 9) en raison d'une insuffisance de données. Sur la plage de Ty Bihan, la forte variabilité du profil de plage peut être mise en relation avec la présence d'un mur de défense contre la mer en haut de plage. Sur la plage du Men Du, le haut de plage réfléchissant pourrait être mis en relation avec la présence d'un mur en haut de plage. D'une manière générale, un suivi topographique des plages effectué à une résolution spatiale et temporelle plus fine serait nécessaire pour analyser l'impact des infrastructures sur l'évolution des plages à court terme.

### II.3. Les plages de la Presqu'île de Rhuys – Secteur Suscinio

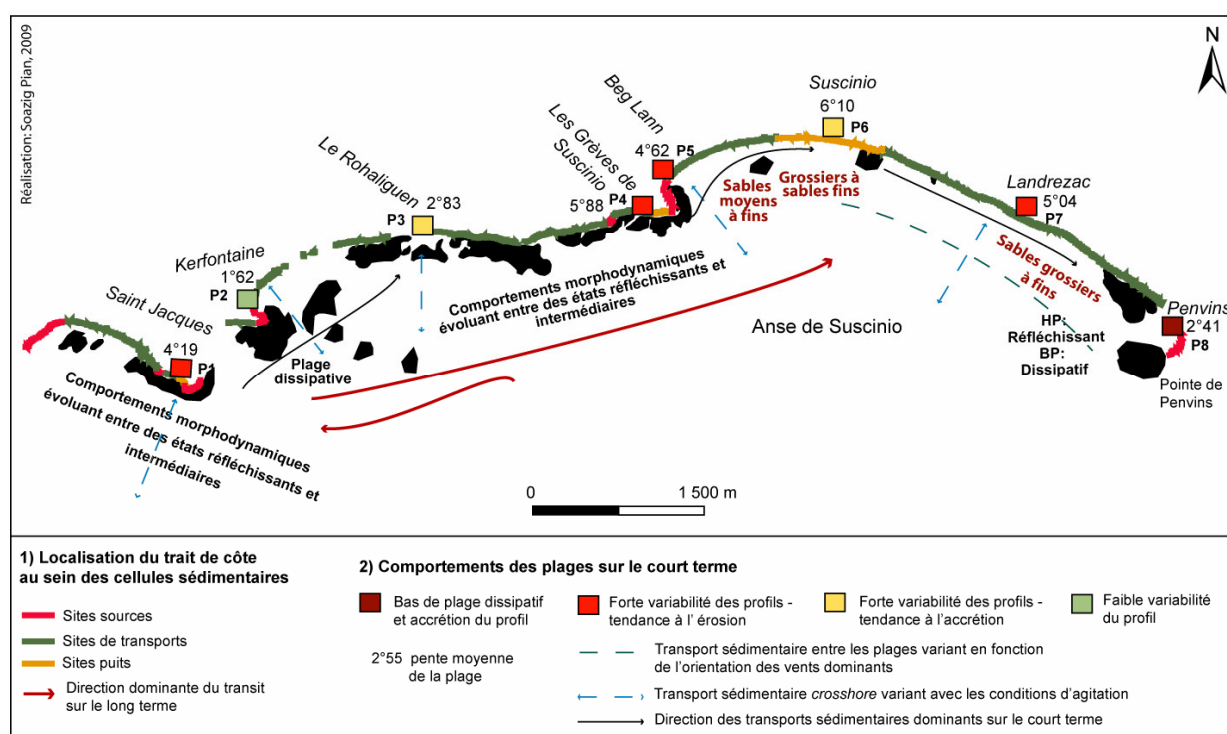
Sur le long terme, l'évolution du trait de côte, au sein de la Presqu'île de Rhuys, est caractérisée par une alternance spatiale et temporelle de mouvements d'érosion et d'accrétion. Les périodes 1952-1985 et 1999-2004 sont marquées par une prédominance du recul du trait de côte. A l'inverse, la période 1985-1999 est caractérisée par une importante progradation du front dunaire (Chapitre 5). Ces mouvements sont dépendants de contraintes naturelles et anthropiques. A l'échelle du système, côtier, ils résultent des processus de transports sédimentaires dominants au sein de chacun de ces intervalles de temps. Ces derniers sont contrôlés par la morphologie de la plage et de l'avant plage, l'orientation de la ligne du rivage par rapport aux houles et vents dominants, et les caractéristiques bathymétriques du site. A une échelle locale, la concentration des pressions anthropiques exercées sur le massif dunaire influence également l'évolution du sommet des falaises et du front dunaire (Chapitre 6). D'une manière générale, les résultats discutés au sein des chapitres 5 et 6 ont mis en évidence que la présence des platiers rocheux en bas de plage, la présence de zones de roches dans les petits fonds et l'importance de la zone de fetch favorisent la mise en place de schémas de circulation sédimentaire complexes, générant des transports irréguliers, dans des directions parfois variables. Toutefois, le centre de l'anse de Suscinio, notamment au niveau de la plage de Suscinio, paraît, sur quasiment chacun des intervalles de temps étudiés, bien alimenté en sédiments. La plupart des schémas de transports opérant le long des côtes de la Presqu'île de Rhuys semblent ainsi favoriser le dépôt des sédiments, à moyen et long terme, dans ce secteur.

Sur le court terme, les comportements des plages évoluent entre des états réfléchissants et intermédiaires, à l'exception des plages de Kerfontaine et de Penvins. A Kerfontaine, la plage adopte un comportement dissipatif sur l'ensemble du profil, caractérisé par une absence de rupture de pente. En outre, le profil est relativement stable sur la période étudiée (Février 2008 - Mars 2009). A Penvins, la plage est caractérisée par une forte rupture de pente en haut de plage, un bas de plage dissipatif et un haut de plage réfléchissant (Chapitre 8). La variabilité des profils des plages est associée à une alternance de transports sédimentaires *onshore* et *crosshore* variant en fonction des conditions d'agitation et de l'orientation des plages (Chapitre 8). Cette variabilité peut également être mise en relation avec la mise en place de courants longitudinaux. Ces courants sont dépendants de l'importance de la zone de fetch et de la variation des conditions météorologiques sur le court terme. Ils génèrent une circulation sédimentaire contrainte par la présence de zones de platiers en bas de plage ou de zones de roches dans les petits fonds (Chapitre 8). Tout comme au sein de la baie de Quiberon, l'importance de la zone de fetch, les variations locales d'orientation du trait de côte et les variations des conditions météorologiques sur le court terme contribuent à générer des schémas de transports sédimentaires dont la direction est susceptible de varier, fortement et rapidement sur le court terme.

Par ailleurs, les échanges sédimentaires entre les plages adjacentes sont complexifiés par la morphologie de la côte et de l'avant côte.

Entre Février 2008 et Mars 2009, les variations des profils de plage témoignent néanmoins d'un transport sédimentaire orienté Sud-Est entre les plages de Saint Jacques et du Rohaliguen, de Beg Lann et de Susicinio, et de Landrezac et de Penvins.

La carte III.16 met en relation le comportement des plages, sur le court terme, avec la position du trait de côte au sein des cellules sédimentaires. Les plages de Kerfontaine et Penvins, dont la forme du profil et le comportement morphodynamique, à court terme, se distinguent de ceux observés sur les autres plages, sont situées dans des sites sources. Excepté le haut de la plage de Penvins, ces plages appartiennent au domaine dissipatif. Les autres plages, situées dans les sites de transports et les sites puits, sont caractérisées par des comportements semblables. La plage de Susicinio, située en fond de baie dans un site puits, et orientée Sud, a tendance à s'engraisser sur la période étudiée (Février 2008 – Mars 2009). C'est également le cas de la plage de Landrezac, située dans un site de transport.



Carte III.16 : Comportement des plages de la presqu'île de Rhuys en fonction de la localisation du trait de côte au sein des cellules sédimentaires

Le tableau III.24 met en relation, pour chaque pas de temps, l'évolution du trait de côte et le comportement des profils de plage observés sur le court terme, en fonction de la position du trait de côte au sein des cellules sédimentaires.



Dans les sites sources, l'évolution du trait de côte sur les différents pas de temps est caractérisée par l'occurrence de processus érosifs résultant de contraintes naturelles et anthropiques. Sur le court terme, les plages adoptent des comportements dissipatifs en bas de plage et réfléchissants en haut de plage. En amont des courants de dérive littorale, les plages étudiées adoptent des comportements similaires à celles observées au sein du massif dunaire et dans la baie Quiberon. Toutefois, entre Février 2008 et Mars 2009, le profil de la plage de Penvins est en érosion.

Dans les sites de transits, l'évolution du trait de côte est marquée par une alternance spatiale et temporelle de processus d'érosion et d'accrétion. Sur le court terme, les plages adoptent des comportements réfléchissants à intermédiaires. Leur évolution est sensible aux différences d'orientation du trait de côte. Dans les sites puits, l'évolution du trait de côte est caractérisée par des mouvements d'accrétion, excepté sur le pas de temps 1952 – 1985 où les processus d'érosion dominant. Sur ce pas de temps, l'évolution du trait de côte est contrôlée par des contraintes à la fois naturelles et anthropiques. Sur le court terme, le comportement des plages varie entre des états réfléchissants à intermédiaires.

	<b>Sites sources</b>	<b>Sites de transport</b>	<b>Sites puits</b>
<b>1952 – 2004</b>	Recul du trait de côte	Avancée et recul du front dunaire	Prédominance des surfaces en accrétion
<b>1952 – 1985</b>	Recul du trait de côte	Prédominance du recul du trait de côte	Augmentation des surfaces en érosion par rapport au pas de temps précédent
<b>1985 – 1999</b>	Recul du trait de côte	Prédominance des surfaces en accrétion et recul local du front dunaire	Prédominance des processus d'accrétion
<b>1999 – 2004</b>	Recul du trait de côte	Prédominance du recul du trait de côte	Developpement de surfaces en érosion et en accrétion dans les dunes
<b>Comportements des plages sur le court terme (2008 - 2009).</b>	Comportement dissipatif. (Réfléchissant en haut de plage à Penvins)	Comportements variables, réfléchissants à intermédiaires, sensibles aux différences d'orientation du trait de côte	Comportements variables, réfléchissants à intermédiaires Engraissement du profil de plage à court terme

*Tableau III.24 : Synthèse du comportement à court et long termes des plages et du trait de côte en presqu'île de Rhuy - Secteur Susicinio -.*

Sur la période étudiée, le profil de la plage de Susicinio tend à s'engraisser. Ainsi, sur le long et moyen terme, à l'aval des courants de dérives littorales, les plages sont plus ou moins bien alimentées en sédiments en fonction des intervalles de temps étudiés.

Sur le court terme, l'analyse détaillée des variations des profils de plages souligne une forte variabilité des mouvements sédimentaires contrôlant l'évolution des plages.

### Synthèse :

Quelles que soient les échelles de temps et d'espace considérées, la répartition des sites en érosion et en accrétion au sein des plages de la Presqu'île de Rhuys ne semble pas pouvoir être expliquée par le cadre théorique proposé par le concept de la cellule sédimentaire. La localisation des sites en érosion et en accrétion n'est pas cohérente, sur tous les pas de temps, avec le positionnement du trait de côte par rapport aux courants de dérive littorale. Le site s'apparente davantage à un vaste secteur de transit, où le recul des falaises des pointes de Saint Jacques, de Beg Lann et de Penvins contribue à alimenter localement le littoral en sédiments. La configuration de la baie par rapport à l'orientation des houles et vents dominants laisse toutefois suggérer une convergence des courants de dérive littorale à Susicinio, au centre de la baie, favorisant ainsi l'engraissement de la plage, sur les long et moyen termes.

D'une manière générale, quatre facteurs contrôlent l'occurrence des schémas de transports *alongshore* : la présence de hauts fonds au large contraignant les processus de réfraction des houles, l'importance de la zone de fetch, la présence en bas de plage de platiers affleurants et de zones de roches contribuant à compartimenter les plages et la variabilité des contraintes météorologiques sur les différents pas de temps étudiés. A court terme, cette variabilité est plus forte. Il en résulte que les tendances caractérisant l'évolution des plages apparaissent plus difficiles à mettre en évidence sur le court terme. De manière à affiner l'analyse des réponses des profils aux variations des forçages météo marins, en fonction des contraintes morphologiques caractérisant le site, une analyse plus fine des variations topographiques des plages serait nécessaire.

Par ailleurs, les dynamiques littorales sont également associées à l'occurrence des transports *crossshore*, se traduisant de différentes manières à long et court terme. Sur le court terme, la prédominance des transports *crossshore* dépend des conditions d'agitation et de l'orientation de la houle et des vents dominants. La réponse des plages aux variations saisonnières des conditions hydrodynamiques varie en fonction de leur exposition et se traduit alternativement par une érosion ou un engraissement du profil. Sur le long terme, l'existence de tels transports est également suggérée par l'incohérence, sur certains pas de temps, des mouvements du trait de côte par rapport à sa localisation dans les cellules sédimentaires. Ces transports contribueraient à complexifier les mouvements sédimentaires déterminant le comportement morphologique des plages de la Presqu'île de Rhuys en favorisant l'occurrence de processus érosifs dans des secteurs alimentés par la dérive littorale, telle à Susicinio entre 1952 et 1985.

Les dynamiques littorales qui contrôlent l'évolution des formes littorales, sur les différentes échelles spatio-temporelles étudiées, apparaissent ainsi complexes. Le concept de cellule sédimentaire ne permet pas d'appréhender totalement l'évolution du trait de côte sur les long, moyen et court termes. Cette observation rejoint les conclusions des travaux de Cooper et Pontee (2006).

Ces derniers indiquent qu'une approche orientée uniquement vers l'identification de cellules sédimentaires ne permet pas d'appréhender toute la complexité du fonctionnement des systèmes côtiers. Ils préconisent le développement d'une approche multiscalaire permettant de mettre en relation la mobilité du paysage littoral avec la mobilité des formes et des processus littoraux agissant sur différentes échelles de temps et d'espace.

Enfin, les analyses développées au sein du chapitre 6 ont permis de mettre en évidence que sur le long et moyen terme, la mobilité des formes littorales dépend, à l'échelle locale, des interactions entre dynamiques littorales et dynamiques anthropiques.

### Synthèse du chapitre 9

La comparaison de l'évolution des formes littorales constituant ces trois systèmes côtiers à long, moyen et court termes renforce l'hypothèse, discutée dans la partie II, selon laquelle ces différents sites présentent des modes de fonctionnement géomorphologique différents. Le fonctionnement du massif dunaire Gâvres-Penthièvre et de la baie de Quiberon est bien expliqué sur ces différentes échelles de temps par l'occurrence de transports *alongshore*. Ces systèmes côtiers s'apparentent à des cellules sédimentaires, sub divisées en sous cellules. En baie de Quiberon, les cellules sédimentaires paraissent plus petites, davantage cloisonnées par la présence de pointes rocheuses. A l'inverse, l'évolution des plages de la Presqu'île de Rhuys n'est pas correctement expliquée par le concept de cellule sédimentaire. Les plages sont cloisonnées les unes des autres par l'ensemble des contraintes morphologiques marquant le site, alors que l'évolution des formes littorales est dépendante de l'occurrence de transports sédimentaires *crossshore*.

Par ailleurs, au sein du massif dunaire, l'évolution du front dunaire sur le long terme et l'évolution des profils de plages sur le court terme sont expliquées par les mêmes types de circulation sédimentaire. Dans ce cas, l'évolution des formes littorales exposées à la houle, sur différentes échelles spatio-temporelles, répond aux mêmes types de forçage. En Baie de Quiberon et en Presqu'île de Rhuys, l'importance de la zone de fetch qui rend la variabilité des profils, sur le court terme, sensible aux variations de l'orientation des vents dominants, ne permet pas d'établir une telle correspondance. Sur ce type de site, des vents peu fréquents sur une longue période de temps peuvent contribuer à générer un courant *alongshore* sur le court terme, non représentatif des transports sédimentaires sur le long terme.

Malgré ces différences, le fonctionnement de ces trois systèmes dunes-plages partage des caractéristiques communes. Le comportement des plages, notamment sur le court terme, est étroitement dépendant de la morphologie de la côte et de l'avant côte marquée par la présence de platiers affleurants sur certaines plages et de zones de roches dans les petits fonds. Ces secteurs rocheux fonctionnent comme des épis naturels, favorisent l'engraissement des plages à l'amont des courants littoraux et réduisent les apports en sédiments des plages situées à l'aval. Sur le temps long, ces contraintes morphologiques contribuent à diviser les systèmes dunes-plages en différentes sub-cellules.

A long et moyen termes, la mobilité des formes littorales, à une échelle locale, est également contrôlée par l'ensemble des interactions existant entre les dynamiques littorales et la concentration des contraintes anthropiques exercées sur la côte.

Selon les pas de temps considérés, ces interactions peuvent aboutir à une modification locale des paysages littoraux en favorisant le développement de formes d'ablation ou d'accumulation. Sur le court terme, l'incidence des infrastructures anthropiques sur le comportement des plages est plus difficile à mettre en évidence.

Conclusion de la partie III:

L'ensemble des analyses réalisées au sein de cette troisième partie a permis de caractériser le cadre morphologique et morphodynamique contrôlant l'évolution des formes littorales, sur le court terme, au sein des systèmes dunes-plages de Bretagne Sud.

A partir des méthodes proposées au sein du chapitre 7, le chapitre 8, divisé en trois sections a permis :

- D'analyser l'évolution de ces plages, sur le court terme, à partir de l'étude des variations des profils de plage,
- De mettre en relation ces évolutions avec les variations temporelles des états morphodynamiques des plages,
- De caractériser de manière ponctuelle, dans le temps et l'espace, la couverture sédimentaire de trois ensembles cohérents d'un point de vue morphologique : le massif dunaire Gâvres-Penthièvre, la baie de Quiberon et l'anse de Suscinio.

Le chapitre 9 présente d'abord une synthèse des résultats obtenus pour chaque système littoral étudié. Cette synthèse a permis d'établir une typologie du comportement morphodynamique des plages, sur le court terme, en fonction de leurs caractéristiques granulométriques et des réponses des profils de plage aux variations saisonnières d'agitation. Les plages de Kerhillio, de Gâvres, du Men Du et de Penvins sont caractérisées par un haut de plage réfléchissant, et une moyenne et basse plage dissipatives. A l'exception de la plage de Kerhillio, ces plages sont toutes adossées à un mur de protection contre la mer. Elles sont également situées dans des sites sources.

Les autres plages adoptent des comportements réfléchissants et/ou intermédiaires. Les comportements réfléchissants sont bien décrits par le paramètre d'échelonnement de barre. Seule la plage de Kerfontaine est caractérisée par un comportement dissipatif sur l'ensemble du profil. Les comportements dissipatifs sont bien mis en évidence par l'utilisation du paramètre de réplique de barre.

De plus, l'ensemble des analyses discutées au sein de cette partie a contribué à mettre en évidence les types de schémas de transports sédimentaires, opérant à l'échelle des plages, sur le court terme. Les plages situées le long du massif dunaire forment un vaste cordon sableux, principalement interrompu au niveau des roches de Magouëro, de la ria d'Etel et de Kerhillio. De part et d'autre de la Ria, les mouvements de transports sédimentaires *alongshore* sont relativement bien mis en évidence.

En Baie de Quiberon et en Presqu'île de Rhuys, les plages étudiées s'apparentent davantage à des plages de poches, *pocket beach*, (Dehouck, 2006, Dehouck et al., 2009) encastrées entre des pointes rocheuses, des platiers affleurants en bas de plage et des zones de roches dans les petits fonds.

Puis, le chapitre 9 a permis de replacer ces évolutions dans un contexte plus général en rappelant l'évolution du trait de côte caractérisant chacun des sites étudiés sur le long terme. Ce dernier point a permis de synthétiser les modes de fonctionnement géomorphologique des systèmes dunes-plages sur différentes échelles spatio-temporelles, de signaler leurs différences et de souligner leurs caractéristiques communes.

Parmi les trois systèmes dunes-plages étudiés, seul le massif dunaire fonctionne comme une côte exposée aux houles océaniques. Les plages de la baie de Quiberon et de la Presqu'île de Rhuys sont davantage abritées. Dans ces secteurs, la direction des courants littoraux est dépendante de l'importance de la zone de fetch et de la direction des vents dominants. Au sein du massif dunaire et de la baie de Quiberon, les évolutions du trait de côte sont bien expliquées par le cadre théorique de la cellule sédimentaire. Différents sites sources, sites puits et sites de transports peuvent être identifiés. A l'inverse, les plages de la Presqu'île de Rhuys s'apparentent à une vaste zone de transport. En dépit de ces différences, les fonctionnements de ces trois systèmes côtiers partagent des caractéristiques communes, liées à l'héritage géologique et à la morphologie de la côte et de l'avant côte. Les plages étudiées fonctionnent comme des plages de poches entre lesquelles les échanges sédimentaires sont contraints par la présence de platiers affleurants en bas de plage et de zones de roches dans les petits fonds. Enfin, les différentes actions entreprises pour aménager l'espace littoral et les concentrations des contraintes anthropiques exercées sur la côte interfèrent avec les dynamiques littorales.

## CONCLUSION GENERALE

Les travaux effectués au cours de ce doctorat se sont intéressés à la dynamique de cinq systèmes côtiers, situés en Bretagne Sud, dans le département du Morbihan. Les analyses entreprises ont permis de proposer des modèles conceptuels du comportement géomorphologique des littoraux Sud bretons, sur différentes échelles spatio-temporelles (Chapitre 9). L'élaboration de ces modèles s'est appuyée sur une approche multiscalaire et multifactorielle, basée sur trois années de travail terrain, ainsi que sur une analyse spatiale et statistique des variations du trait de côte, sur différents pas de temps, entre 1952 et 2004.

Les observations effectuées sur le terrain au cours de la première année, entre décembre 2006 et décembre 2007, ont permis de cartographier les contraintes littorales (morphologie, contraintes hydrodynamiques, orientation et exposition du trait de côte, ...), les contraintes continentales (structure géologique, lithologie, couvert végétal, ...) et les contraintes anthropiques (urbanisation, artificialisation du trait de côte, chemins côtiers, surfaces bâties, ...) qui définissent les littoraux morbihannais. Ces données ont été numérisées à partir des orthophotographies datées de 2004 et couvrant l'ensemble de la zone d'étude. En combinant ces données à celles décrivant la bathymétrie et la couverture sédimentaire de côte et de l'avant côte, la climatologie des houles et les conditions météorologiques prévalant sur les côtes étudiées, cinq systèmes côtiers ont été individualisés au sein de la zone d'étude. Parmi ces cinq systèmes côtiers, deux sont principalement constitués de falaises : la presqu'île de Quiberon et le Golfe du Morbihan. Les trois autres sont caractérisés par une prédominance des formes d'accumulations sableuses et ont été définis comme des systèmes dunes-plages. Il s'agit du massif dunaire Gâvres-Penthièvre, de la baie de Quiberon et des plages de la presqu'île de Rhuys (Partie I).

Les deux années suivantes (2008 – 2009) ont été consacrées à l'obtention de données topographiques et granulométriques afin d'analyser le comportement morphodynamique des plages sur le court terme (Partie III). Ces données acquises sur le terrain ont été mises en relation avec les caractéristiques des houles, mesurées au large de la zone d'étude et modélisées, en bas de plage, à partir du modèle REFDIF-SUDBHZ (PREVIMER- Ifremer). Cette analyse a été réalisée sur les plages des trois systèmes dunes-plages.

Parallèlement, les variations du trait de côte, au sein de chaque système côtier ont été analysées à partir des fonctionnalités analytiques proposées par les SIG de manière à identifier les liens de dépendances statistiques et spatiales entre, d'une part, les mouvements des formes littorales et, d'autre part, les différentes contraintes, naturelles et anthropiques, susceptibles de contrôler ces évolutions (Partie II).



Cette approche a permis de développer une analyse multifactorielle de la mobilité des formes littorales sur les long et moyen termes.

A l'issue de ces analyses, la presqu'île de Quiberon, délimitée entre Penthievre et la pointe du Conguel, et le Golfe du Morbihan ont été définis comme des systèmes de falaises dont le recul est contrôlé par un ensemble de contraintes à la fois naturelles et anthropiques. Au sein de ces deux systèmes de falaises, les vitesses de recul du sommet des falaises sont contrôlées par le type de roche, l'épaisseur de l'horizon d'altération et le type et l'état du couvert végétal. Au sein de la presqu'île de Quiberon, l'orientation de la côte par rapport aux houles dominantes à l'échelle régionale et les effets d'abri à l'échelle locale contrôlent également le recul du trait de côte. Les contraintes anthropiques exercées sur le sommet des falaises, telles que l'augmentation des surfaces bâties et l'implantation de chemins côtiers contribuent à accélérer, localement, les vitesses de recul. Dans le Golfe du Morbihan, l'incidence de ces contraintes anthropiques sur le recul du sommet des falaises n'est pas clairement mise en évidence. Les vitesses de recul les plus importantes sont associées aux petites falaises meubles, caractérisées par un fort degré d'altération, un sol épais et couvertes par une végétation arborée.

Le massif dunaire Gâvres-Penthievre apparaît comme une vaste cellule sédimentaire, divisée en trois sub-cellules au sein desquelles la circulation des sédiments, localement et temporairement interrompue au niveau de la ria d'Etel, est globalement orientée Sud-Est. Sur le long terme (1952 - 2004), ces schémas de transports sédimentaires favorisent le recul du trait de côte au Nord du massif dunaire et la progradation du front dunaire au Sud, et dans sa partie centrale. Toutefois, les variations du trait de côte sont marquées par de fortes variabilités qui se traduisent par une augmentation des processus érosifs depuis 1999, sur l'ensemble du massif dunaire. Sur les long et moyen termes, la mobilité du trait de côte est ainsi fortement contrôlée par les courants de dérive littorale. L'ensemble des contraintes anthropiques exercées sur la frange littorale interagit avec les dynamiques littorales, en favorisant à une échelle plus locale, les processus d'ablation ou d'accumulation sédimentaire. Sur le court terme, à l'exception de la plage de Gâvres dont le comportement est dissipatif en bas de plage, l'ensemble des plages du massif dunaire adopte des comportements réfléchissants à intermédiaires, contraints par l'action combinée des houles et des courants de marée. Les variations des profils de plage soulignent également l'existence d'un transit sédimentaire orienté Sud-Est. La combinaison des données granulométriques et topographiques ainsi que l'orientation du trait de côte permettent d'assimiler le massif dunaire comme à une *crenulate bay* exposée à une houle incidente, dont le fonctionnement est largement contrôlé par les courants de dérives littorales.

La baie de Quiberon, qui dessine une vaste courbe, ouverte sur le Sud-Est, est divisée en plusieurs cellules sédimentaires, alimentées localement par le recul des petites falaises meubles qui jalonnent le trait de côte. Au sein de ces cellules, la circulation sédimentaire est contrôlée par la bathymétrie, l'orientation, la morphologie de la côte et de l'avant côte et l'importance de la zone de fetch.

Sur les long et moyen termes, à l'Est et au centre de la baie, les schémas de transports sédimentaires, sont respectivement orientés Nord et Nord Est. Ils convergent au niveau de la baie de Plouharnel. Entre 1952 et 2004, les plages de Carnac, Légenesse et Ty Bihan sont globalement en accrétion. Au Sud-Est du Golfe, la circulation sédimentaire est fortement contrainte par l'entrée du Golfe du Morbihan qui apparaît comme une discontinuité majeure. Par ailleurs, les interactions entre contraintes naturelles et contraintes anthropiques contribuent également à expliquer la mobilité du trait de côte. Sur le court terme, les variations des profils de plage observées entre février 2008 et juin 2009 traduisent également des apports sédimentaires vers le centre de la baie. L'orientation des courants littoraux est fortement dépendante de l'importance de la zone de fetch et de l'orientation des vents dominants. Il en résulte que ces apports ne se traduisent pas par un engraissement régulier des profils dans la mesure où la réponse des plages aux variations de la direction des courants littoraux dépend des possibilités de transports longitudinaux entre plages adjacentes, elles mêmes contraintes par les conditions locales d'agitation et la morphologie de la côte, marquée par la présence de pointes rocheuses. Sur le court terme, les plages enregistrent des comportements intermédiaires à réfléchissants. Elles s'apparentent à des plages de fonds de baie, situées en position abritée.

Les plages de la presqu'île de Rhuy constituent un vaste secteur de transports sédimentaires, au sein duquel certaines plages, telle Susicinio, sont caractérisées par des processus d'accumulation sédimentaire plus pérennes. Les courants de dérive littorale dominants sont orientés vers le Sud-Est, mais des inversions de courants de dérive littorale sont possibles en fonction de l'orientation des vents dominants et de l'importance de la zone de fetch. Ces schémas de transports sédimentaires n'expliquent qu'une partie des variations du trait de côte mesurées sur le long terme, qui peuvent également être mis en relation avec l'occurrence de transports *crosshore* et une augmentation des pressions anthropiques sur le long terme. Sur le court terme, le comportement des plages est situé entre des états réfléchissants et intermédiaires, excepté à Kerfontaine et à Penvins, où le bas de plage est dissipatif. L'analyse des variations des profils de plage et des indices granulométriques sur les plages de l'anse de Susicinio souligne, en outre, l'existence d'un transport sédimentaire, sur le court terme, orienté vers la pointe de Penvins. D'une manière générale, sur les court et long termes, le comportement des plages de la presqu'île de Rhuy est contrôlé par deux contraintes majeures : d'une part, la complexité de la morphologie de la côte et de l'avant côte qui perturbe les échanges sédimentaires entre plages adjacentes, et d'autre part l'importance de la zone de fetch qui favorise la mise en place de courants littoraux dépendants de l'orientation des vents dominants.

Les résultats des analyses à long terme ont été mis en relation avec les résultats à court terme en cartographiant le comportement des plages sur le court terme en fonction de la position du trait de côte au sein des cellules sédimentaires, sur le long terme.

La lecture transversale des résultats obtenus a permis de souligner les points communs caractérisant le fonctionnement de ces littoraux sud breton sur différentes échelles spatio-temporelles. Dans les trois systèmes dunes-plages étudiées, les plages de Gâvres, de Kerhillio, du Men Du et de Penvins sont caractérisées par des comportements morphodynamiques semblables. A court terme, ces plages sont marquées par des comportements dissipatifs. A Gâvres, Kerhillio et sur la plage du Men Du, les processus érosifs sont dominants. L'analyse des variations du trait de côte, sur le temps long, souligne que ces plages sont situées dans les sites sources, à l'amont des courants littoraux. Les plages situées dans les sites de transports et les sites puits sont caractérisées par des comportements intermédiaires et réfléchissants au sein des trois systèmes dunes-plages étudiés. En outre, d'une manière générale, les schémas de transports sédimentaires mise en évidence sur le court terme et sur le long terme, adoptent globalement la même orientation. Sur le court terme, les échanges sédimentaires entre les plages sont compliqués par la présence de roches dans les petits fonds et de platiers affleurants en bas de plage. Au sein du massif dunaire, ces contraintes contribuent à diviser le système côtier en trois sub-cellules sédimentaires. Les limites des sub-cellules, sur le temps long et le temps court, sont similaires. Au sein de la baie Quiberon, les plages sont isolées les unes des autres par des pointes rocheuses qui définissent plusieurs sub-cellules. Dans ces deux systèmes côtiers, la distribution spatiale des sites en érosion et en accrétion reste similaire sur les différentes échelles de temps et d'espace étudiées et dépend des mêmes types de circulation sédimentaire. A partir de ces observations, il reste cependant difficile d'établir les relations de causalités qui unissent les deux échelles spatio-temporelles étudiées. Ces résultats mettent en évidence des similitudes entre le comportement des plages et du trait de côte dans les secteurs situés à l'amont des courants littoraux, sans toutefois permettre de modéliser les processus de transferts sédimentaires expliquant les liens entre la mobilité de la dune et du profil de plage. En Presqu'île de Rhé, la complexité de la morphologie de la côte et de l'avant côte rend difficile l'identification de limites de cellules sédimentaires, quelque soit l'échelle spatio-temporelle considérée.

Par ailleurs, pour chacun de ces systèmes côtiers, les variations à long terme sont contrôlées par les interactions entre les dynamiques littorales et continentales qui régulent le comportement des formes littorales et l'augmentation des pressions anthropiques exercées sur la frange côtière à long et moyen termes. En effet, la combinaison des résultats mise en évidence par les analyses spatiales d'une part, et les analyses statistiques multivariées, d'autre part, souligne l'importance des interactions entre les dynamiques littorales, continentales et anthropiques.

Suivant les pas de temps considérés, ces interactions contribuent à favoriser la mise en place de formes d'accumulation sédimentaire en haut de plage ou à l'inverse à accélérer les processus de recul du trait de côte.

A une échelle très locale, les interactions entre contraintes naturelles et contraintes anthropiques permettent le développement de formes d'abrasion dans le front dunaire. La dimension multifactorielle de l'approche adoptée dans le cadre de ces travaux a ainsi permis d'analyser la complexité de l'occurrence des processus érosifs en mettant en évidence le rôle des interactions *contraintes naturelles – contraintes anthropiques* dans les mouvements de recul du trait de côte.

L'analyse de l'occurrence des processus érosifs a permis de discuter du rôle des interactions entre contraintes naturelles et contraintes anthropiques dans la définition du risque d'érosion côtière auxquels sont exposés les littoraux étudiés. A partir de cette analyse, une discussion concernant la vulnérabilité des côtes de Bretagne Sud face au risque de recul du trait de côte a pu être développée, en proposant une typologie des formes de vulnérabilité affectant les littoraux Sud bretons. Cette typologie prend en compte l'importance relative du contrôle de l'élément anthropique dans l'occurrence des processus érosifs. La carte II.36 souligne l'importance du linéaire côtier soumis à des formes de vulnérabilité face au recul du trait de côte qui sont associées à de fortes interactions entre contraintes anthropiques et contraintes naturelles.

Dans une perspective de modélisation du risque d'érosion côtière, en particulier dans un contexte d'élévation du niveau des mers, le rôle de ces interactions devrait être intégré de manière à appréhender les réponses possibles des littoraux Sud bretons. Les échelles spatio-temporelles étudiées dans le cadre de ce travail n'ont pas permis d'aborder cette problématique qui pourrait faire l'objet d'analyses ultérieures.

Pour résumer, les travaux effectués dans le cadre de ce doctorat ont permis de synthétiser et développer les connaissances portant sur le fonctionnement géomorphologique d'une partie des systèmes côtiers sud bretons. Ces derniers apparaissent emprunts d'une forte complexité. La complexité des comportements géomorphologiques et morphodynamiques est générée d'une part, par les contraintes morphologiques et bathymétriques qui contrôlent les processus d'échange sédimentaire, et d'autre part, par la multiplicité des interactions nature/société qui impulse des dynamiques originales aux littoraux de Bretagne Sud et favorise, parfois localement, l'occurrence de processus érosifs. Ce dernier point soulève de nouveaux questionnements quant à l'appréhension de la vulnérabilité des sites côtiers face au risque de recul du trait de côte. Toutefois, à l'issue de ces travaux, un certain nombre d'interrogations demeurent, qui pourraient faire l'objet d'analyses ultérieures.

Une modélisation plus précise des échanges sédimentaires terre-mer pourraient notamment être envisagée afin d'améliorer la définition des délimitations des cellules sédimentaires et de réfléchir à la fermeture du bas de plage.

De plus, une quantification de volumes sédimentaires transférés sur le court et long termes, à l'échelle du profil de plage et des systèmes dunes-plages pourrait permettre de développer des approches quantitatives, basées sur des méthodes d'analyses spatiales et géostatistiques. Elle permettrait également d'affiner et de quantifier les modèles de comportements discutés au sein de ce travail et d'appréhender les liens de causalités entre les différentes échelles spatio-temporelles. Ce type d'analyse permettrait de surcroît d'examiner l'incidence des infrastructures localisées en haut de plage sur le fonctionnement des plages à court terme. Ainsi, si l'ensemble des analyses réalisées a permis de répondre, au moins en partie, aux objectifs posés par ce travail de recherche, les résultats obtenus ouvrent de nouvelles perspectives de recherche, qui pourraient permettre de développer et d'améliorer la compréhension du fonctionnement des littoraux morbihannais.

## TABLE DES MATIERES

Liste des sigles et des abréviations.....	4
Liste abrégée des symboles.....	4
Sommaire .....	5
Introduction.....	8
Contexte général de l'étude .....	8
Problématique et objectifs .....	13
La démarche méthodologique.....	14
Organisation de la thèse .....	15
 Partie I : Le littoral Sud breton : un espace littoral entre « nature » et « société » ..	17
<b>Chapitre 1 : Synthèse des données disponibles et utilisées pour étudier les littoraux Sud bretons .....</b>	<b>18</b>
I. Présentation des bases de données hydrodynamiques et météorologiques.....	18
I.1. La base de données CANDHIS du CETMEF .....	18
I.2. La base de données PREVIMER d'IFREMER .....	19
I.3. La base de données RONIM du SHOM .....	20
I.4. Les données de METEO FRANCE .....	20
II. Acquisition des données décrivant la morphologie du littoral .....	21
II.1. Acquisition des données par photo-interprétation et observations terrain .....	21
II.2. Typologie des côtes à falaise .....	24
II.3. Typologie des contacts dunes-plages .....	27
III. Présentation des données numériques et spatiales .....	30
III.1. Les données sédimentaires et bathymétriques .....	30
III.2. Morphologie et orientation du trait de côte .....	30
Synthèse générale du chapitre 1 .....	33
<b>Chapitre 2 : Présentation générale du littoral Sud breton .....</b>	<b>34</b>
I. Les contraintes hydrodynamiques.....	34
I.1. Le régime des vents .....	34
I.1.1. Situation générale.....	34
I.1.2. Evolution générale des vents sur le long terme .....	35
I.1.3. Régime des vents sur le court terme .....	36
I.2. Le régime des houles .....	37
I.2.1. Caractérisation du régime des houles sur le temps long .....	37
I.2.1. Caractérisation du régime des houles sur le temps court .....	38
I.3. Le régime des courants de marée .....	39
Synthèse: .....	40
II. Description du cadre géologique et géomorphologique : état de l'art.....	41
II.1. Le littoral Sud breton : un littoral peu étudié .....	41
II.2. Le cadre géologique.....	42
II.3. Géomorphologie de l'avant côte .....	45
II.4. Géomorphologie de la côte .....	47
Synthèse: .....	52
III. Données relatives à l'anthropisation du littoral étudié.....	53
III.1. Données démographiques .....	53
III.2. L'évolution économique.....	55
III.3 L'artificialisation du littoral .....	55
Synthèse: .....	56
Synthèse générale du chapitre 2.....	57
<b>Chapitre 3 : Présentation détaillée des cinq systèmes littoraux retenus pour l'analyse .....</b>	<b>58</b>
I. Le massif dunaire Gâvres - Penthièvre .....	58
II. La façade Ouest de la presqu'île de Quiberon.....	63
III. La baie de Quiberon.....	66
IV. Le Golfe du Morbihan .....	71
V. La presqu'île de Rhuys .....	76
Synthèse générale du chapitre 3:.....	81
Conclusion de la Partie I.....	82

Partie II : Analyse du comportement géomorphologique des systèmes littoraux sur le long terme.....	83
--	----

#### **Chapitre 4 : Analyse du comportement des systèmes côtiers sur le long terme : approche méthodologique.....85**

I. Quantification et cartographie de la mobilité du trait de côte .....	85
I.1. Pré-traitements.....	85
I.1.1. Numérisation des clichés aériens .....	86
I.1.2. Géo-rectification des clichés.....	86
I.1.3. Numérisation du trait de côte.....	89
I.2. Traitements : mesure de la mobilité du trait de côte.....	90
I.2.1. Création de couches de polygones .....	91
I.2.2. Extraction des marges d'erreur.....	91
I.2.3. Mesure du recul des falaises .....	93
Synthèse: .....	94
II. Analyse spatiale de la mobilité du trait de côte .....	95
II.1. Constitution d'une base de données spatiales relative à la mobilité du trait de côte en Bretagne Sud (1952 – 2004).....	96
II.1.1. Présentation des contraintes retenues pour analyser la mobilité du trait de côte.....	96
II.1.1.a) Les « contraintes naturelles » associées aux systèmes dunes-plages.....	97
II.1.1.b) Les « contraintes naturelles » associées aux systèmes de falaises .....	98
II.1.1.c) Les « contraintes anthropiques » associées aux systèmes dunes-plages et aux systèmes de falaises.....	99
II.1.2. Modélisation conceptuelle de la base de données spatiales et création d'une géodatabase .	101
II.1.2.a. Réalisation du modèle conceptuel de données (MCD).....	102
II.1.2.b. Modélisation logique et physique et création de la Géodatabase à l'aide du module ArcCatalog-ArcInfo .....	103
II.1.3. Création des couches d'information spatiale intégrées à la Géodatabase .....	107
II.2. Analyse des relations spatiales entre les sites en érosion et en accrétion .....	112
II.2.1. Analyse de la distribution des contraintes « naturelles » et « anthropiques » au sein des systèmes côtiers.....	114
II.2.2. Analyse des relations de voisinage .....	117
III. Traitements statistiques : méthode appliquée.....	119
III.1. Description des modalités et des variables utilisées pour caractériser les systèmes côtiers .....	120
III.2. Analyse des relations de dépendance par groupe de deux variables .....	120
III.3. Analyse multifactorielle et classification des tableaux de données.....	121
III.3.1. L'Analyse en Composante Multiple (ACM) .....	122
III.3.2. La Classification ascendante hiérarchique .....	123
Synthèse du chapitre 4.....	126

#### **Chapitre 5 : Interprétation des résultats et analyse des contraintes naturelles et anthropiques contrôlant la cinématique du trait de côte.....128**

I. Cartographie des variations du trait de côte par secteur .....	128
I.1. Le massif dunaire Gâvres – Penthièvre .....	128
I.1.1. Les grandes tendances marquant l'évolution du trait de côte (1952 - 2004) .....	129
I.1.2. L'évolution sur les pas de temps intermédiaires .....	129
I.2. La baie de Quiberon.....	134
I.2.1. Les grandes tendances marquant l'évolution du trait de côte (1952 - 2004) .....	134
I.2.2. L'évolution sur les pas de temps intermédiaires .....	134
I.3. Les plages de la presqu'île de Rhuys.....	138
I.3.1. Les grandes tendances marquant l'évolution du trait de côte.....	138
I.3.2. L'évolution sur les pas de temps intermédiaires .....	138
I.4. Les falaises de la façade Ouest de la presqu'île de Quiberon .....	142
I.5. Le Golfe du Morbihan.....	144
Synthèse générale.....	147
II. Interprétation des résultats des analyses spatiales et analyse des relations entre les différentes contraintes contrôlant l'évolution du trait de côte .....	148
II.1. Identification et localisation des « contraintes naturelles » intégrées dans la base de données relative à la mobilité du trait de côte .....	148
II.1.1. Identification et localisation des « contraintes naturelles » associées aux mouvements du trait de côte au sein des systèmes dunes-plages.....	148

II.1.1.a. Identification des schémas de circulation sédimentaire parallèle à la côte .....	148
II.1.1.b. Identification de la position du trait de côte au sein des cellules sédimentaires.....	156
II.1.2. Identification des « contraintes naturelles » associées au recul des falaises .....	159
Synthèse générale:.....	161
II.2. Résultats et interprétation de l'analyse multiscalaire de la répartition spatiale des sites en érosion et en accrétion au sein des systèmes côtiers .....	162
II.2.1. Résultats et interprétations de l'analyse de la distribution spatiale des contraintes associées aux mouvements du trait de côte à l'échelle des systèmes côtiers .....	162
II.2.1.a. Massif dunaire Gâvres – Penthièvre.....	162
II.2.1.b. La baie de Quiberon .....	165
II.2.1.c. Presqu'île de Rhuys – secteur Suscinio.....	166
II.2.1.d. Presqu'île de Quiberon .....	168
II.2.1.e. Le Golfe du Morbihan .....	169
Synthèse :.....	171
II.2.2. Résultats et interprétation de l'analyse des relations de voisinage.....	172
II.2.2.a) Le massif dunaire Gâvres-Penthièvre.....	172
II.2.2.b) La baie de Quiberon .....	177
II.2.2.c) La presqu'île de Rhuys .....	182
II.2.2.d) La presqu'île de Quiberon .....	186
II.2.2.e) Le Golfe du Morbihan .....	188
Synthèse générale.....	190
III. Analyse des relations de dépendances statistiques entre les variables : interprétation des résultats .....	191
III.1. Résultats et interprétation des analyses des histogrammes et des tableaux de contingence .....	192
III.1.1. Une forte anthropisation de l'espace littoral depuis les années 1950 .....	192
III.1.2 Evaluation de la pertinence des limites des cellules sédimentaires.....	196
III.2. Résultats et interprétation des analyses statistiques multivariées.....	197
III.2.1. Le massif dunaire Gâvres – Penthièvre.....	198
III.2.1.a. Analyse sur le temps long : 1952 - 2004.....	198
III.2.1.b. Analyse sur les pas de temps intermédiaires: 1952 - 1984.....	202
III.2.1.c. Analyse sur les pas de temps intermédiaires: 1984 - 1999.....	205
III.2.1.d. Analyse sur les pas de temps intermédiaires: 1999 - 2000.....	209
III.2.1.e. Analyse sur les pas de temps intermédiaires: 2000 - 2004.....	212
Synthèse :.....	216
III.2.2. La baie de Quiberon .....	217
III.2.2.a. Analyse sur le temps long : 1952 - 2004.....	217
III.2.2.b. Analyse sur les pas de temps intermédiaires: 1952 - 1985.....	221
III.2.2.c. Analyse sur les pas de temps intermédiaires: 1985 - 2004.....	224
Synthèse .....	227
III.2.3. La presqu'île de Rhuys – Secteur Suscinio .....	229
III.2.3.a. L'analyse sur le temps long : 1952 - 2004 .....	229
III.2.3.b. L'analyse sur les pas de temps intermédiaires : 1952 - 1985 .....	232
III.2.3.c. L'analyse sur les pas de temps intermédiaires : 1985 - 1999 .....	235
III.2.3.d. L'analyse sur les pas de temps intermédiaires : 1999 - 2004 .....	238
Synthèse .....	241
Synthèse des systèmes dunes-plages .....	242
III.2.4. La presqu'île rocheuse de Quiberon.....	244
III.2.5. Le Golfe du Morbihan .....	249
Synthèse pour les systèmes de falaises:.....	252
IV. Mobilité du trait de côte et fonctionnement des systèmes côtiers sur le long terme : éléments de synthèse .....	253
IV.1. Le Massif dunaire Gâvres – Penthièvre .....	253
IV. 2. La baie de Quiberon .....	255
IV.3. La presqu'île de Rhuys .....	256
IV.4. La presqu'île rocheuse de Quiberon .....	257
IV.5. Le Golfe du Morbihan .....	258
Synthèse générale du chapitre 5 .....	260
<b>Chapitre 6 : Risques et vulnérabilité des systèmes côtiers face au recul du trait de côte.....</b>	<b>262</b>
I. Les concepts de risque et de vulnérabilité en géomorphologie littorale .....	262
I.1. Le risque et les risques côtiers : éléments de définition .....	263
I.2. La vulnérabilité des systèmes littoraux : éléments de définition .....	264



II. Analyse de l'occurrence des processus érosifs en Bretagne Sud entre 1952 et 2004 et analyse des interactions entre « contraintes naturelles » et « contraintes anthropiques » .....	265
II.1. Analyse synthétique des processus érosifs associés au recul des fronts dunaires .....	265
II.2. Analyse synthétique des processus érosifs associés au recul du sommet des falaises de la presqu'île de Quiberon et du Golfe du Morbihan .....	267
II.3. Le rôle des interactions nature-société dans le fonctionnement des systèmes côtiers .....	268
II.3.1. Une possible accélération des processus érosifs .....	269
II.3.2. Introduction de formes d'ablation d'origine anthropique .....	271
II.3.3. Des interactions contraintes anthropiques/contraintes naturelles favorisant la mise en place de formes d'accumulation .....	273
Synthèse .....	275
III. Analyse du risque d'érosion côtière et de la vulnérabilité du littoral morbihannais face au recul du trait de côte .....	275
III.1. Les différents types de risques associés au recul du trait de côte .....	276
III.2. Clés de lecture pour l'analyse de la vulnérabilité du littoral morbihannais face au recul du trait de côte .....	278
III.2.1. Résilience et artificialisation de l'espace littoral .....	279
III.2.2. Typologie et cartographie de trois différentes formes de vulnérabilité en Bretagne Sud .....	280
Synthèse générale du chapitre 6: .....	283
Conclusion de la partie II .....	284

## Partie III : Analyse du comportement morphologique et morphodynamique des plages sur le court terme (échelle annuelle) .....

<b>Chapitre 7 : Acquisition et traitements des données terrain.....</b>	<b>286</b>
I. Mesure des variations topographiques des plages .....	286
I.1. Levée des profils de plage .....	286
I.2. Analyse des variations des profils .....	288
II. Identification du comportement morphodynamique des plages .....	290
II.1. Présentation des indicateurs utilisés pour caractériser la morphodynamique des plages dans la littérature .....	291
II.2. Caractérisation du comportement morphodynamique des plages de Bretagne Sud : méthodologie adoptée sur les plages étudiées .....	294
III. Prélèvements et traitements des échantillons sédimentaires .....	297
Synthèse générale du chapitre 7 : .....	301

<b>Chapitre 8 : Analyse et interprétation des données terrain.....</b>	<b>302</b>
I. Analyse des variations des profils de plage .....	302
I.1. Variations des profils des plages du secteur Gâvres-Penthièvre .....	302
I.1.1. Evolution générale des plages .....	305
I.1.2. Variations des profils au cours de la Période de Suivi Morphologique 1 .....	308
I.1.3. Variations des profils au cours de la Période de Suivi Morphologique 2 .....	309
I.1.4. Variations des profils au cours de la Période de Suivi Morphologique 3 .....	310
I.1.5. Variations des profils au cours de la Période de Suivi Morphologique 4 .....	311
I.1.6. Variations des profils au cours de la Période de Suivi Morphologique 5 .....	311
I.1.7. Variations des profils au cours de la Période de Suivi Morphologique 7 .....	312
Synthèse : .....	313
I.2. Variations des profils des plages de la baie de Quiberon .....	315
I.2.1. Evolution générale des plages .....	317
I.2.2. Variations des profils au cours de la Période de Suivi Morphologique 1 .....	319
I.2.3. Variations des profils au cours de la Période de Suivi Morphologique 2 .....	322
I.2.4. Variations des profils au cours de la Période de Suivi Morphologique 3 .....	323
I.2.5. Variations des profils au cours de la Période de Suivi Morphologique 4 .....	324
I.2.6. Variations des profils au cours de la Période de Suivi Morphologique 5 .....	324
I.2.7. Variations des profils au cours de la Période de Suivi Morphologique 7 .....	325
Synthèse : .....	326
I.3. Variations des profils des plages de la Presqu'île de Rhuys .....	329
I.3.1. Evolution générale des plages .....	334
I.3.2. Variations des profils au cours de la Période de Suivi Morphologique 1 .....	334
I.3.3. Variations des profils au cours de la Période de Suivi Morphologique 2 .....	336
I.3.4. Variations des profils au cours de la Période de Suivi Morphologique 3 .....	337
Synthèse .....	338

II. Analyse des comportements morphodynamiques des plages observées entre Février 2008 et Juin 2009.....	341
II.1. Le massif dunaire Gâvres-Penthièvre .....	341
Synthèse :.....	344
II.2. La baie de Quiberon.....	345
II.2.1. Secteur Ouest :.....	345
II.2.2. Secteur Sud Est :.....	347
Synthèse :.....	348
II.3. La Presqu'île de Rhuys .....	349
Synthèse :.....	352
Synthèse Générale :.....	353
III. Analyse des données granulométriques .....	356
III.1. Gâvres – Penthièvre.....	356
III.2. Baie de Quiberon .....	358
III.2.1. Secteur Ouest.....	359
III.2.2. Secteur Sud-Est .....	360
III.3. Les plages de l'anse de Suscinio .....	362
Synthèse générale:.....	364
Synthèse générale du chapitre 8.....	365
 <b>Chapitre 9 - Evolution morphologique, comportements morphodynamiques et fonctionnements géomorphologiques des systèmes dunes-plages : éléments de synthèse.....</b>	<b>366</b>
I. Synthèse des comportements morphodynamiques à court terme.....	366
I.1. Le massif dunaire Gâvres - Penthièvre .....	366
I.2. La baie de Quiberon.....	368
I.3. La Presqu'île de Rhuys .....	370
Synthèse générale:.....	372
II. Synthèse des comportements à court et long termes .....	373
II.1. Le massif dunaire Gâvres – Penthièvre .....	373
Synthèse .....	377
II.2. La baie de Quiberon.....	378
Synthèse :.....	381
II.3. Les plages de la Presqu'île de Rhuys – Secteur Suscinio .....	383
Synthèse :.....	386
Synthèse du chapitre 9.....	388
Conclusion de la partie III:.....	390
 Conclusion Générale .....	392
 Table des matières .....	398
Table des cartes .....	403
Table des figures .....	405
Table des graphiques .....	408
Table des photographies.....	409
Table des tableaux .....	410
 Références bibliographiques.....	412
 Annexe A .....	430
Annexe B .....	431
Annexe C.....	433
Annexe D.....	434
Annexe E.....	436
Annexe F .....	439
Annexe G.....	467
Annexe H.....	472
Annexe I .....	473
Annexe J.....	474

## TABLE DES CARTES

Carte i.1 : Localisation générale de la zone d'étude .....	8
--	---

Partie 1	
Carte I.1: Cartographie simplifiée de la couverture sédimentaire de la plateforme continentale, à partir des données de Chassé et Glémarec, 1976 - Vanney, 1977 .....	44
Carte I.2 : La marge Sud-armoricaine et les régions physiographiques (modifié d'après Vanney, 1977) in Menier, 2004. ....	45
Carte I.3: Cartographie des différents types de côtes en Bretagne Sud.....	48
Carte I.4 : Evolution démographique en Bretagne, par commune, de 1962 à 2006 in <a href="http://www.bretagne-environnement.org/">http://www.bretagne-environnement.org/</a> .....	54
Carte I.5 : Densité de population en Bretagne, par commune, en 2006 in <a href="http://www.bretagne-environnement.org/">http://www.bretagne-environnement.org/</a> .....	54
Carte I.6 : Cartographie de la morphologie du secteur Gâvres - Penthièvre. ....	62
Carte I.7 : Cartographie de la morphologie de la presqu'île de Quiberon.....	65
Carte I.8: Cartographie de la morphologie de la baie de Quiberon.....	70
Carte I.9 : Cartographie de la bathymétrie du Golfe – Données SHOM in Dubois, 2007 .....	71
Carte I.10 : Courants de flot dans le Golfe (coefficient 95) – Données SHOM – in Dubois, 2007. ....	72
Carte I.11 : Courants de jusant dans le Golfe (coefficient 95) Données SHOM- in Dubois, 2007.....	73
Carte I.12a: Cartographie de la morphologie de la presqu'île de Rhuys : zone littorale.....	79
Carte I.12b: Cartographie de la morphologie de la presqu'île de Rhuys .....	80
Partie 2	
Carte II.1: Evolution du trait de côte entre 1952 et 2004 – Secteur: Massif dunaire Gâvres-Penthièvre. ....	133
Carte II.2: Evolution du trait de côte au sein de la baie de Quiberon entre 1952 et 2004 .....	137
Carte II.3: Evolution du trait de côte de la Presqu'île de Rhuys entre 1952 et 2004 .....	141
Carte II.4: Evolution du trait de côte de la façade Ouest de la presqu'île de Quiberon entre 1952 et 2004.....	143
Carte II.5: Recul des falaises de la façade Ouest de la presqu'île de Quiberon entre 1952 et 2004 .	144
Carte II.6: Evolution du trait de côte du Golfe du Morbihan entre 1952 et 2004.....	146
Carte II.7: Cartographie du recul des falaises du Golfe du Morbihan entre 1952 et 2004.....	146
Carte II.8: Cartographie des schémas de circulations sédimentaires entre Gâvres et Penthièvre pour des houles de secteur Ouest.....	150
Carte II.9: Cartographie des résultats obtenus par la modélisation hydrosédimentaire au large du massif dunaire Gâvres – Penthièvre (modèle MARS S4 – 2008) .....	151
Carte II.10: Cartographie des schémas de circulations sédimentaires dans la baie de Quiberon, pour des houles de secteur Ouest.....	153
Carte II.11: Cartographie des schémas de circulations sédimentaires en presqu'île de Rhuys pour des houles de secteur Ouest.....	155
Carte II.12: Position du trait de côte au sein des cellules sédimentaires entre Gâvres et Penthièvre	157
Carte II.15: Modèle graphique représentant la distribution spatiale des contraintes déterminant l'évolution du trait de côte au sein du massif dunaire Gâvres – Penthièvre entre 1952 et 2004 .....	164
Carte II.17 : Modèle graphique représentant la distribution spatiale des contraintes déterminant l'évolution du trait de côte de la presqu'île de Rhuys (1952 - 2004) .....	167
Carte II.18: Modèle graphique représentant la distribution spatiale des contraintes déterminant l'évolution du trait de côte de la façade Ouest de la Presqu'île de Quiberon (1952 - 2004).....	169
Carte II.19: Modèle graphique représentant la distribution spatiale des contraintes déterminant l'évolution du trait de côte du Golfe du Morbihan (1952 - 2004). ....	170
Carte II.20 : Analyse des relations de voisinages entre la distribution spatiale des contraintes anthropiques et naturelles associées aux variations du trait de côte au sein du massif dunaire entre 1952 et 2004.....	173
Carte II.21 : Analyse des relations de voisinages entre la distribution spatiale des contraintes anthropiques et naturelles associées aux variations du trait de côte au sein du massif dunaire entre 1952 et 1984.....	174
Carte II.22 : Analyse des relations de voisinages entre la distribution spatiale des contraintes anthropiques et naturelles associées aux variations du trait de côte au sein du massif dunaire entre 1984 et 1999.....	174

Carte II.23 : Analyse des relations de voisinages entre la distribution spatiale des contraintes anthropiques et naturelles associées aux variations du trait de côte au sein du massif dunaire entre 1999 et 2000.....	175
Carte II.24 : Analyse des relations de voisinages entre la distribution spatiale des contraintes anthropiques et naturelles associées aux variations du trait de côte au sein du massif dunaire entre 2000 et 2004.....	176
Carte II.25 : Analyse des relations de voisinages entre la distribution spatiale des contraintes anthropiques et naturelles associées aux variations du trait de côte au sein de la baie de Quiberon entre 1952 et 2004 .....	179
Carte II.26 : Analyse des relations de voisinages entre la distribution spatiale des contraintes anthropiques et naturelles associées aux variations du trait de côte au sein de la baie de Quiberon entre 1952 et 1985 .....	180
Carte II.27 : Analyse des relations de voisinages entre la distribution spatiale des contraintes anthropiques et naturelles associées aux variations du trait de côte au sein de la baie de Quiberon entre 1985 et 2004 .....	181
Carte II.28 : Analyse des relations de voisinages entre la distribution spatiale des contraintes anthropiques et naturelles associées aux variations du trait de côte de la presqu'île de Rhuy entre 1952 et 2004.....	182
Carte II.29 : Analyse des relations de voisinages entre la distribution spatiale des contraintes anthropiques et naturelles associées aux variations du trait de côte de la presqu'île de Rhuy entre 1952 et 1985.....	183
Carte II.30 : Analyse des relations de voisinages entre la distribution spatiale des contraintes anthropiques et naturelles associées aux variations du trait de côte de la presqu'île de Rhuy entre 1985 et 1999.....	184
Carte II.31 : Analyse des relations de voisinages entre la distribution spatiale des contraintes anthropiques et naturelles associées aux variations du trait de côte de la presqu'île de Rhuy entre 1999 et 2004.....	185
Carte II.32 : Analyse des relations de voisinages entre la distribution spatiale des contraintes anthropiques et les classes de recul des falaises de la façade Ouest de la presqu'île de Quiberon (1952 – 2004).....	186
Carte II.33 : Analyse des relations de voisinages entre la distribution spatiale des contraintes naturelles et les classes de recul des falaises de la façade Ouest de la presqu'île de Quiberon (1952 – 2004).....	187
Carte II.34 : Analyse des relations de voisinages entre la distribution spatiale des contraintes naturelles et les classes de recul des falaises du Golfe du Morbihan (1952 – 2004).....	188
Carte II.35 : Analyse des relations de voisinages entre la distribution spatiale des contraintes naturelles et les classes de recul des falaises du Golfe du Morbihan (1952 – 2004).....	189
Carte II.36 : Répartition spatiale des classes issues de la CAH : analyse des variables contrôlant l'évolution du massif dunaire entre 1952 et 2004.....	201
Carte II.37 : Répartition spatiale des classes issues de la CAH : analyses des variables contrôlant l'évolution du massif dunaire entre 1952 et 1984.....	204
Carte II.38 : Répartition spatiale des classes issues de la CAH : analyse des variables contrôlant l'évolution du massif dunaire entre 1984 et 1999.....	208
Carte II.39 : Répartition spatiale des classes issues de la CAH : analyse des variables contrôlant l'évolution du massif dunaire entre 1999 et 2000.....	211
Carte II.40 : Répartition spatiale des classes issues de la CAH : analyse des variables contrôlant l'évolution du massif dunaire entre 2000 et 2004.....	214
Carte II.41 : Répartition spatiale des classes issues de la CAH : analyse des variables contrôlant l'évolution de la baie de Quiberon entre 1952 et 2004.....	220
Carte II.42 : Répartition spatiale des classes issues de la CAH : analyse des variables contrôlant l'évolution de la baie de Quiberon entre 1952 et 1985.....	224
Carte II.43 : Répartition spatiale des classes issues de la CAH : analyse des variables contrôlant l'évolution de la baie de Quiberon entre 1985 et 2004.....	227
Carte II.44 : Répartition spatiale des classes issues de la CAH : analyse des variables contrôlant l'évolution de la presqu'île de Rhuy entre 1952 et 2004 .....	231
Carte II.45 : Répartition spatiale des classes issues de la CAH : analyse des variables contrôlant l'évolution de la presqu'île de Rhuy entre 1952 et 1985 .....	234
Carte II.46 : Répartition spatiale des classes issues de la CAH : analyse des variables contrôlant l'évolution de la presqu'île de Rhuy entre 1985 et 1999 .....	237

Carte II.47: Répartition spatiale des classes issues de la CAH : analyse des variables contrôlant l'évolution de la presqu'île de Rhuy entre 1999 et 2004 .....	240
Carte II.48: Répartition spatiale des classes issues de la CAH : analyse des variables contrôlant l'évolution de la presqu'île de Quiberon entre 1952 et 2004 .....	248
Carte II.49: Répartition spatiale des classes issues de la CAH : analyse des variables contrôlant l'évolution du Golfe du Morbihan entre 1952 et 2004 .....	252
Carte II.50 Portion du linéaire côtier artificiellement stabilisée .....	280
Carte II.51: Cartographie des formes de vulnérabilité des systèmes côtiers Sud bretons face au recul du trait de côte - (A partir des données 1952 - 2004) .....	283

### Partie 3

Carte III.1 : Localisation des plages sur lesquelles ont été prélevés les échantillons sédimentaires .	297
Carte III.2: Localisation des profils levés au sein du massif dunaire Gâvres – Penthievre .....	302
entre Février 2008 et Février 2009 .....	302
Carte III.3 : Synthèse du comportement des profils des plages sur le court terme au sein du massif dunaire.....	314
Carte III.4: Localisation des profils de plages levés dans la baie de Quiberon.....	315
Carte III.5 : Synthèse du comportement des profils des plages en Baie de Quiberon entre Février 2008 et Juin 2009 .....	327
Carte III.6: Localisation des profils de plages levés dans la presqu'île de Rhuy .....	329
Carte III.7 : Synthèse des comportements des profils de plage sur le court terme en Presqu'île de Rhuy.....	340
Carte III.8: Cartographie de la couverture sédimentaire des estrans de la baie de Quiberon - Secteur Carnac. ....	360
Carte III.9: Cartographie de la couverture sédimentaire des estrans de la baie de Quiberon - Secteur Sud- .....	361
Est.....	361
Carte III.10: Cartographie sédimentaire des estrans de l'anse de Suscinio - Presqu'île de Rhuy - .	362
Carte III.11: comportement morphodynamique et évolution des plages du massif dunaire sur le court terme: éléments de synthèse. ....	367
Carte III.12: comportement morphodynamique et évolution des plages de la baie de Quiberon sur le court terme: éléments de synthèse. ....	369
Carte III.14 : Comportement des plages du massif dunaire Gâvres – Penthievre en fonction de la localisation du trait de côte au sein des cellules sédimentaires.....	375
Carte III.15 : Comportement des plages de la baie de Quiberon en fonction de la localisation du trait de côte au sein des cellules sédimentaires.....	379
Carte III.16 : Comportement des plages de la presqu'île de Rhuy en fonction de la localisation du trait de côte au sein des cellules sédimentaires.....	384

## TABLE DES FIGURES

Figure i.1: Représentation des différentes échelles spatio-temporelles associées à l'analyse en géomorphologie littorale d'après les travaux de Cowell et Thom (1994) .....	9
Figure i.2 : Représentation schématisée des systèmes de contraintes contrôlant l'évolution du Golfe du Morbihan entre 1952 et 2004 .....	12
Figure i.3 : Représentation schématisée de l'organisation des travaux réalisés dans le cadre de la thèse .....	15

### Partie 1

Figure I.1: Exemple d'une fiche de validation terrain concernant la presqu'île de Quiberon .....	23
Figure I.2: Exemple d'une fiche de validation terrain concernant le Golfe du Morbihan.....	23
Figure I.3: Photographies des différents types de falaise .....	25
Figure I.4 : Photographie des différents types de végétation établis sur le sommet des falaises .....	26
Figure I.5 : Classification des types de dunes établie par Hesp (2002), in Hesp (2002), Geomorphology (48), 245-268 .....	28
Figure I.6 : Typologie des contacts dunes-plages observés en Bretagne Sud.....	29
Figure I.7 : Rose des vents à Belle Ile pour la période 1970-1999, établie à partir des travaux de Lemasson (1999).....	35

Figure I.8 : Rose des vents – Sémaphore du Talut (Belle Ile) – 2008/2009 .....	36
Figure I.9: Représentation schématique des falaises de la pointe du Talus.....	49
Figure I.10: Illustration des falaises meubles rencontrés le long du littoral Sud breton.....	50
Figure I.11 : Evolution du contact dune-plage dans le temps à Kerminthy .....	51

Partie 2
----------

Figure II.1 : Illustration des effets du relief sur la position des objets sur les clichés aériens.....	88
Figure II.2: Représentation schématique des différentes étapes réalisées pour la cartographie des variations du trait de côte. ....	90
Figure II.3: Représentation schématique de la méthode adoptée pour estimer le recul maximal des falaises sur un plan latéral.....	94
Figure II.4: représentation schématique et synthétique des effets des pressions anthropiques sur le recul des fronts dunaires discutés dans le texte .....	100
Figure II.5 : représentation schématique et synthétique des effets des pressions anthropiques sur le recul du sommet des falaises discutés dans le texte .....	101
Figure II.6 : Modèle conceptuel de données – Analyse de la mobilité du trait de côte en Bretagne Sud (1952- 2004) .....	103
Figure II.7a : Schéma logique représentant les liens entre les couches d'information spatiale contenues dans les hyperclasses Données Géomorphologiques et Evolution du trait de côte (1952 – 2004).....	105
Figure II.7b : Schéma logique représentant les liens entre les couches d'information spatiale contenues dans les hyperclasses Contraintes Naturelles et Evolution du trait de côte (1952 – 2004) .....	106
Figure II.8 : Organigramme méthodologique : méthode appliquée pour obtenir les couches d'informations nécessaires à l'analyse des variations du trait de côte .....	108
Figure II.9 : Extrait d'une table attributaire .....	112
Figure II.10: Représentation schématique des modèles graphiques obtenus à partir du calcul de la distance standardisée.....	116
Figure II.11 : Exemple de dendrogramme.....	124
Figure II.12: Extrait de la mosaïque 1985 représentant la forte dégradation du couvert végétal au niveau du massif dunaire (Commune Erdeven) .....	131
Figure II.13: Représentation graphique des axes factoriels 1 et 2 issus de l'ACM effectuée sur la table attributaire associée aux mouvements du trait de côte au sein du massif dunaire entre 1952 et 2004. ....	199
Figure II.14: Représentation graphique des axes factoriels 1 et 2 issus de l'ACM effectuée sur la table attributaire associée aux mouvements du trait de côte au sein du massif dunaire entre 1952 et 1984. ....	203
Figure II.15: Représentation graphique des axes factoriels 1 et 2 issus de l'ACM effectuée sur la table attributaire associée aux mouvements du trait de côte au sein du massif dunaire entre 1984 et 1999. ....	206
Figure II.16: Représentation graphique des axes factoriels 1 et 2 issus de l'ACM effectuée sur la table attributaire associée aux mouvements du trait de côte au sein du massif dunaire entre 1999 et 2000. ....	210
Figure II.17: Représentation graphique des axes factoriels 1 et 2 issus de l'ACM effectuée sur la table attributaire associée aux mouvements du trait de côte au sein du massif dunaire entre 2000 et 2004. ....	213
Figure II.18: Représentation graphique des axes factoriels 1 et 2 issus de l'ACM effectuée sur la table attributaire associée aux mouvements du trait de côte au sein de la baie de Quiberon entre 1952 et 2004. ....	218
Figure II.19: Représentation graphique des axes factoriels 1 et 2 issus de l'ACM effectuée sur la table attributaire associée aux mouvements du trait de côte au sein de la baie de Quiberon entre 1952 et 1985.....	222
Figure II.20: Représentation graphique des axes factoriels 1 et 2 issus de l'ACM effectuée sur la table attributaire associée aux mouvements du trait de côte au sein de la baie de Quiberon entre 1985 et 2004.....	225
Figure II.21: Représentation graphique des axes factoriels 1 et 2 issus de l'ACM effectuée sur la table attributaire associée aux mouvements du trait de côte au sein de la presqu'île de Rhé entre 1952 et 2004.....	229

Figure II.22: Représentation graphique des axes factoriels 1 et 2 issus de l'ACM effectuée sur la table attributaire associée aux mouvements du trait de côte au sein de la presqu'île de Rhuys entre 1952 et 1985.....	233
Figure II.23: Représentation graphique des axes factoriels 1 et 2 issus de l'ACM effectuée sur la table attributaire associée aux mouvements du trait de côte au sein de la presqu'île de Rhuys entre 1985 et 1999.....	236
Figure II.24: Représentation graphique des axes factoriels 1 et 2 issus de l'ACM effectuée sur la table attributaire associée aux mouvements du trait de côte au sein de la presqu'île de Rhuys entre 1999 et 2004.....	238
Figure II.25: Représentation graphique des axes factoriels 1 et 2 issus de l'ACM effectuée sur la table attributaire associée au recul des falaises de la presqu'île de Quiberon entre 1952 et 2004. ....	246
Figure II.26: Représentation graphique des axes factoriels 1 et 2 issus de l'ACM effectuée sur la table attributaire associée au recul des falaises du Golfe du Morbihan entre 1952 et 2004. ....	250

Partie 3
----------

Figure III.1 : Schéma théorique d'un profil de plage et identification des différentes zones en fonction de l'influence de la marée.....	288
Figure III.2 : Classification morphodynamique des plages suivant la méthode établie par Masselink et Short (1993) in Masselink et Hughes (2003).....	292
Figure III.3 : Représentation schématique des principaux types de déferlements observés sur les plages .....	292
Figure III.4 : Localisation des prélèvements sédimentaires, sur l'estran, le long des profils .....	298
Figure III.5 : Variations des profils de plage levés au sein du massif dunaire Gâvres - Penthièvre ...	306
Figure III.5 : Variations des profils de plage levés au sein du massif dunaire Gâvres – Penthièvre ..	307
Figure III.6 : Variations des profils de plage levés au sein de la baie de Quiberon .....	320
Figure III.6 : Variations des profils de plage levés au sein de la baie de Quiberon .....	321
Figure III.7 : Variations des profils de plage levés au sein de la Presqu'île de Rhuys.....	332
Figure III.7 : Variations des profils de plage levés au sein de la Presqu'île de Rhuys.....	333
Figure III.8 : Classification des plages suivant la combinaison des résultats obtenus par les paramètres d'échelonnement de barre, de réplication de barre et du RTR. Figure réalisée à partir de Masselink et Hedges, 2003 - .....	355
Carte III.10: Cartographie sédimentaire des estrans de l'anse de Suscinio - Presqu'île de Rhuys - .	362
Carte III.13: comportement morphodynamique et évolution des plages de la Presqu'île de Rhuys sur le court terme: éléments de synthèse .....	371

## TABLE DES GRAPHIQUES

Partie 2	
Graphique II.1 : Pourcentage des sites associés à une augmentation des pressions anthropiques dans le massif dunaire Gâvres Penthievre (1952-2004).....	192
Graphique II.2 : Pourcentage des sites associés à une augmentation des pressions anthropiques au sein de la Baie de Quiberon (1952-2004). ....	193
Graphique II.3 : Pourcentage des sites associés à une augmentation des pressions anthropiques au sein de la Presqu'île de Rhuys (1952 - 2004). ....	193
Graphique II.4: Pourcentage des sites en recul (1952 – 2004) associés à une augmentation des pressions anthropiques dans les systèmes falaises .....	194
Graphique II.5: Nature et évolution des contraintes anthropiques associées aux mouvements du trait de côte au sein du massif dunaire Gâvres – Penthievre (1952 - 2004).....	194
Graphique II.6: Nature et évolution des contraintes anthropiques associées aux mouvements du trait de côte de la baie de Quiberon (1952 – 2004).....	195
Graphique II.7: Nature et évolution des contraintes anthropiques associées aux mouvements du trait de côte de la presqu'île de Rhuys (1952 - 2004) .....	195
Graphique II.8: Nature et évolution des contraintes anthropiques associées aux mouvements du trait de côte dans les systèmes à falaises (1952 - 2004). ....	195
Partie 3	
Graphique III.1 : Variations des caractéristiques des houles au sein des périodes de suivi morphologique mises en place sur les plages du Massif dunaire Gâvres-Penthievre.....	303
Graphique III.2 : Variations des caractéristiques des vents au sein des périodes de suivi morphologique mises en place sur les plages du Massif dunaire Gâvres-Penthievre.....	304
Graphique III.3 : Variations des caractéristiques des houles au sein des périodes de suivi morphologique mises en place sur les plages de la baie de Quiberon.....	316
Graphique III.4 : Variations des caractéristiques des vents au sein des périodes de suivi morphologique mises en place sur les plages de la baie de Quiberon.....	316
Graphique III.5 : Variations des caractéristiques des houles au sein des périodes de suivi morphologique mises en place sur les plages de la presqu'île de Rhuys .....	331
Graphique III.6: Variations des caractéristiques des vents au sein des périodes de suivi morphologique mises en place sur les plages de la presqu'île de Rhuys .....	331



## TABLE DES PHOTOGRAPHIES

Partie 1	
Photo I.1: Photographie d'une falaise située sur la pointe de Gâvres. ....	59
Photo I.2 : La plage de Plouharnel (Avril 2010).....	60
Photo I.3 : La plage d'Etel (Avril 2010).....	60
Photo I.4 : La plage du Mentor (Avril 2010).....	60
Photo I.5: Photographie d'une plage de poche, développée aux pieds des falaises de la Presqu'île de Quiberon (Février 2007). ....	63
Photo I.6 : Plage de Carnac (Avril 2010).....	67
Photo I.7 : Tombolo de la plage du Men Du (Mars 2007) .....	67
Photo I.8: Massif dunaire de Kervest – Etang de Tumiach (Avril 2010).....	68
Photo I.9 : Plage des Gouvelins (Avril 2010).....	68
Photo I.10: Photographie de deux falaises de hauteurs différentes dans le Golfe du Morbihan (Juin 2007).....	74
Photo I.11: Marais maritime et surface couverte par un schorre dans le Golfe du Morbihan (Mai 2008) .....	74
Photo I.12 : Plage de Kerfontaine (Mars 2008).....	76
Photo I.13 : Les Grèves de Susicinio (Avril 2010).....	77
Photo I.14: Croissants de plage à Landrezac (Octobre 2007) .....	77
Photo I.15: plage de Landrezac (Avril 2010).....	78
Partie 2	
Photo II.1: Exemple du recul d'une falaise meuble par chablis dans le Golfe du Morbihan .....	190
Photo II.2 : Recul des falaises de la côte Sauvage de Quiberon associée à la présence d'un chemin et d'une dégradation de la couverture végétale (Février 2008) .....	270
Photo II.3 : Exemple de falaise exposée au recul par chablis dans le Golfe du Morbihan (Juin 2007) .....	271
Photo II.4 : Localisation de formes d'abrasion sur le front dunaire à proximité des chemins .....	272
Photo II.5 : Accumulation de sables derrière des ganivelles au sein du massif dunaire (Février 2008) .....	274
Photo II.6 : Lotissements menacés par le recul du trait de côte en Presqu'île de Rhuys (Avril 2007) .....	276
Photo II.7 : Forte artificialisation du littoral à Gâvres (Décembre 2007) .....	280
Partie 3	
Photo III.1 : Mise en station du théodolite Laser .....	287
Photo III.2 : Platier affleurant à mi-marée sur la plage du Magouëro (Février 2007).....	308
Photo III.3 : Sables déposés par la mer sur le parking de la plage de Gâvres – Photo prise le 15 Mars 2008.....	309
Photo III.4: Emplacement du profil sur la plage du Men Du.....	318
Photo III.5 : La plage des Grèves de Susicinio à marée basse (Avril 2010).....	330
Photo III.6 : La plage du Rohaliguen à marée basse (Avril 2010).....	330

## TABLE DES TABLEAUX

Partie 1	
Tableau I.1.: Synthèse du nombre de fiches de validation terrain utilisées pour différentes portions du littoral étudié. ....	22
Tableau I.2 : Métadonnées des données spatiales de référence .....	32
Tableau I.4 : Fréquence des houles enregistrées au Sud de Belle Ile en fonction de leur orientation, sur la période 2008/2009.....	39
Tableau I.5 : Valeurs du marnage moyen, maximum et minimum établi pour les ports de Lorient, Port Louis, Port Haliguen, Vannes et Pénérif sur la période 2008/2009 .....	40
Partie 2	
Tableau II.1: caractéristiques des clichés aériens utilisés pour l'analyse des variations du trait de côte .....	86
Tableau II.2 : Synthèse des marges d'erreurs associées aux mesures des variations du trait de côte. ....	92
Tableau II.4: synthèse des évolutions caractérisant l'évolution du trait de côte au sein de la baie de Quiberon entre 1952 et 2004.....	135
Tableau II.5 : Synthèses des évolutions du trait de côte dans la presqu'île de Rhuys entre 1952 et 2004.....	139
Tableau II.6: synthèse des évolutions caractérisant l'évolution du trait de côte dans le Golfe du Morbihan.....	145
Tableau II.7: Caractéristiques des falaises de la presqu'île de Quiberon.....	159
Tableau II.8: Orientation du trait de côte le long de la presqu'île de Quiberon - Découpage au 1 : 10 000 .....	160
Tableau II.9: Caractéristiques des falaises du Golfe du Morbihan.....	160
Tableau II.10: Analyse de la répartition statistique des polygones en érosion et en accrétion, en fonction de la position du trait de côte au sein des cellules sédimentaires. Secteur: Massif dunaire Gâvres – Penthièvre – 1952 – 2004.....	196
Tableau II.11: Analyse de la répartition statistique des polygones en érosion et en accrétion, en fonction de la position du trait de côte au sein des cellules sédimentaires. Secteur: Baie de Quiberon – 1952 – 2004.....	197
Tableau II.12: Analyse de la répartition statistique des polygones en érosion et en accrétion, en fonction de la position du trait de côte au sein des cellules sédimentaires. Secteur: Presqu'île de Rhuys – 1952 – 2004 .....	197
Tableau II.13 : Position des objets centraux dans le plan factoriel (Massif dunaire – 1952/2004) .....	200
Tableau II.14 : Position des objets centraux dans le plan factoriel (Massif dunaire – 1952/1984) .....	204
Tableau II.15 : Position des objets centraux dans le plan factoriel (Massif dunaire – 1984/1999) .....	207
Tableau II.16 : Position des objets centraux dans le plan factoriel (Massif dunaire – 1984/1999) .....	210
Tableau II.17: Position des objets centraux dans le plan factoriel (Massif dunaire – 2000/2004) .....	214
Tableau II.18 : Position des objets centraux dans le plan factoriel (Baie de Quiberon – 1952/2004) .....	219
Tableau II.19 : Position des objets centraux dans le plan factoriel (Baie de Quiberon – 1952/1985) .....	222
Tableau II.20 : Position des objets centraux dans le plan factoriel (Baie de Quiberon – 1985/2004) .....	226
Tableau II.21 : Position des objets centraux dans le plan factoriel (Presqu'île de Rhuys – 1952/2004) .....	230
Tableau II.22 : Position des objets centraux dans le plan factoriel (presqu'île de Rhuys – 1952/1985) .....	233
Tableau II.23 : Position des objets centraux dans le plan factoriel (presqu'île de Rhuys – 1985/1999) .....	236
Tableau II.24 : Position des objets centraux dans le plan factoriel (Presqu'île de Rhuys – 1999/2004) .....	239
Tableau II.25 : Position des objets centraux dans le plan factoriel (presqu'île de Quiberon – 1999/2004).....	246
Tableau II.26 : Position des objets centraux dans le plan factoriel (Golfe du Morbihan – 1999/2004).....	250

Partie 3	
Tableau III.1. : Fréquence des relevés topographiques effectués sur les plages du Massif dunaire, de la baie de Quiberon et de la presqu'île de Rhuys .....	286
Tableau III.2: Valeurs seuils des indicateurs morphodynamiques définissant les comportements réfléchissants, intermédiaires et dissipatifs des plages. ....	293
Tableau III.3 : Nombre d'échantillons sédimentaires traités et dates de prélèvements.....	297
Tableau III.4 : Echelles en phi et en mm des classes granulométriques utilisées pour l'analyse.....	299
Tableau III.5: Paramètres granulométriques utilisés pour l'analyse. D'après Masselink G. et Hughes M.G., 2003, Introduction to Coastal Processes and Geomorphology, chapitre 4, p. 106. ....	300
Tableau III.6 : Valeurs des pentes des plages étudiées au sein du Massif dunaire Gâvres-Penthièvre .....	303
Tableau III.7 : Caractéristiques des houles lors de chaque PSM au sein du massif dunaire .....	304
Tableau III.8 : Valeurs des pentes des plages étudiées au sein de la baie de Quiberon .....	315
Tableau III.9 : Direction et vitesse moyenne des vents prévalant au cours de chaque période de suivi morphologique en Baie de Quiberon.....	328
Tableau III.10 : Valeurs des pentes des plages étudiées sur la Presqu'île de Rhuys .....	329
Tableau III.11 : Caractéristiques des vents lors de chaque PSM en Presqu'île de Rhuys .....	339
Tableau III.12 : Classification morphodynamique des plages du massif dunaire Gâvres - Penthièvre .....	342
Tableau III.13 : Valeurs des pentes, $\tan \beta$ , des plages de Gâvres et Kerhillio, de part et d'autre de la rupture de pente .....	343
Tableau III.14: Classification morphodynamique des plages en Baie de Quiberon.....	346
Tableau III.15 : Valeurs des pentes, $\tan \beta$ , de la plage du Men Du, de part et d'autre de la rupture de pente .....	346
Tableau III.17 : Valeurs des pentes, $\tan \beta$ , de la plage de Penvins, de part et d'autre de la rupture de pente .....	350
Tableau III.17 : Synthèse des types de comportement morphodynamique identifiés sur les plages de Bretagne Sud entre Février 2008 et Juin 2009 .....	353
Figure III.9: Localisation des prélèvements effectués au sein du massif dunaire Gâvres – Penthièvre .....	357
Tableau III.18: Résultats des analyses granulométriques réalisées au sein du massif dunaire.....	358
Tableau III.19: Résultats des analyses granulométriques réalisées en baie de Quiberon (Secteur Carnac). ....	359
Tableau III.20: Résultats des analyses granulométriques réalisées en baie de Quiberon (Secteur Sud-Est). ....	361
Tableau III.21: Résultats des analyses granulométriques réalisées en Presqu'île de Rhuys – Secteur Suscinio .....	363
Tableau III.22 : Synthèse du comportement à court et long termes des plages et du front dunaire du système dune-plage Gâvres - Penthièvre. ....	376
Tableau III.23 : Synthèse du comportement à court et long termes des entités morphologiques constituant la baie de Quiberon.....	381
Tableau III.24 : Synthèse du comportement à court et long termes des plages et du trait de côte en presqu'île de Rhuys – Secteur Suscinio –.....	385

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

### A

AAGAARD T., DAVIDSON-ARNOTT R., GREENWOOD B. and NIELSEN J., **2004**, *Sediment supply from shoreface to dunes: linking sediment transport measurements and long term morphological evolution* Geomorphology, 60 - 205-224 -

ADGER N. W., **2006**, *Vulnerability*, Global environmental change, 16 - 268-281 -

AERNOUTS D., **2005**, *Le rôle des changements bathymétriques à l'avant côte sur l'évolution des littoraux meubles du Cap Gris-Nez à Dunkerque, Côte d'Opale, Nord de la France*, -Thèse de doctorat, Université du Littoral - Côte d'Opal, 195 pages -

ALLEN G., BOGDEN P., CREAGER G., DEKATE C., JESCH C., KAISER H., MCLAREN J., PERRIE W., STONE W. G. and ZHANG X., **2006**, *Towards an integrated GIS-based coastal forecast workflow* Concurrency and computation: practice and experience, 20 - 1637-1651 -

ANDERSON U. V., **1995**, *Resistance of Danish coastal vegetation types to human trampling*, Biological conservation, 71 - 223-30 -

ANDREWS B. D., GARES P. A. and COLBY J. D., **2002**, *Techniques for GIS modeling of coastal dunes*, Geomorphology, 48 - 289-308 -

ANFUSO G., DOMINGUEZ L. and GRACIA E. J., **2007**, *Short and medium-term evolution of a coastal sector in Cadiz, SW Spain*, Catena, 70 - 229-242 -

ANFUSO G., MARTINEZ-DEL-POZO J. A., GRACIA E. J. and LOPEZ-AGUAYO F., **2003**, *Long-shore distribution of morphodynamic beach state along an apparently homogeneous coast in SW Spain*, Journal of Conservation, 9 - 49-56 -

ANTHONY E. J., **1998**, *sediment-wave parametric characterization of beaches*, Journal of Coastal Research, 14 - 347-352 -

ANTHONY E. J., **1997**, *The status of beaches and shoreline developments options on the French Riviera: a perspective and a prognosis*, Journal of Coastal Conservation, 3 - 169-178 -

ANTHONY E. J., VANHEE S. and RUZ M. H., **2006**, *Short term beach-dune sand budgets on the north sea coast of France: Sand supply from shoreface to dune, and the role of wind and fetch*, Geomorphology, 81 - 316-329 -

ARENS S. M. and WIERSMA J., **1994**, *The Dutch foredunes: inventory and classification*, Journal of Coastal Research, 10 - 189-202 -

ASSELMAN N., **1999**, *Grain size trends used to assess the effective discharge for floodplain sedimentation, river Waals, the Netherlands*, journal of sedimentary research, 69 - 51-61 -

### B

BALDOCK T. E., MANOONVORAVONG P. and SON PHAM K., **2010**, *Sediment transport and beach morphodynamics induced by free long waves, bound long waves and wave groups*, Geomorphology, doi:10.1016/j.coastaleng.2010.05.006

BASCO D. R., BELLOMO D. A., HAZELTON J. M. and JONES B. N., **1997**, *The influence of seawalls on subaerial beach volumes with receding shorelines*, Coastal Engineering, 30 - 203-233 -

- BASTERRETXEA G., ORFILA A., JORDI A., FORNOS J. J. and TINTORÉ J., **2007**, *Evaluation of a small volume renourishment strategy on a narrow Mediterranean beach*, Geomorphology, 88 - 139-151 -
- BATTIAU-QUENEY Y., BILLET J. F., CHAVEROT S. and LANOY-RATEL P., **2003**, *Recent shoreline mobility and geomorphologic evolution of macrotidal sandy beaches in the north of France*, Marine Geology, 194 - 31-45 -
- BATTJES J. A., **1974**, *Surf Similarity*, Proceedings of the 14th International Conference of Coastal Engineering, - 466-480 -
- BEGUE E., PRÉAULT F. and TARTARY P., **1999**, *Espace dunaire de Kerhillio, étude de l'impact du piétinement sur les dunes*, Rapport de stage BTS GNPA -32 pages -
- BERNARD N., **2001**, *Inventaire cartographique, par télédétection aéroportée, des habitats marins du Golfe du Morbihan*, Mémoire de l'Université de Bretagne Occidentale, IUEM, Dren Bretagne -44 pages -
- BIRD E., **2000**, *Coastal Geomorphology: An Introduction*, John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 322 pages
- BIRKMANN J., **2007**, *Risk and vulnerability indicators at different scales: Applicability, usefulness and policy implication*, Environmental Hazards, 7 - 20-31 -
- BONNOT Y., **1995**, *Pour une politique globale et cohérente du littoral en France*, Rapport au Gouvernement, - 168 pages -
- BOORMAN L. A. and FULLER R. M., **1977**, *Studies on the impact of paths on the dune vegetation at Winterton, Norfolk, England*, Biological conservation, 12 - 203-16 -
- BOS P. and QUÉLENNEC R. E., **1988**, *Etude de l'évolution du littoral nord ouest du Morbihan entre Guidel et la Trinité sur Mer - Eléments pour une politique de protection côtière* Bureau de recherches géologiques et minières - Service Géologique Régional de Bretagne.
- BOUILLÉ F., **1977**, *Un modèle universel de banque de données simultanément portable et répartie*, Thèse d'Etat ès sciences, Université Pierre et Marie Curie, Paris.
- BOUTIN A., **1995**, *Le Golfe du morbihan, entre abri et exposition*, Mémoire de Maîtrise, Université de Nantes, 123 pages -
- BOUYASSE P. and HORN R., **1968**, *Nouvelles données sur la structure du plateau continental sud-armoricain* C.R. Académie des Sciences de Paris, 267 - 690-693 -
- BOWEN A. J. and INMAN D. L., **1966**, *Budget of littoral sands in the vicinity of Point Arguello, California* C.E.R.C. Technical Memorandum, 19 - 41 pages -
- BRAULT N., GUILLOCHEAU F., PROUST J.-n., NAPLAS T., BONNET S., BOURQUIN S. and BRUN J.-P., **2001**, *Evolution du système fluvial de Pénestin (Morbihan): Conséquences géomorphologiques*, Bulletin de la société de Géologie de France, 5 - 563-572 -
- BRAY J. M., CARTER D. J. and HOOKE J. M., **1995**, *Littoral cell definition and budgets for central southern England*, Journal of Coastal Research, 11 - 381-400 -
- Bretagne Environnement, **2008**, *L'environnement en Bretagne. Cartes et chiffres clés*, - 1- 164 pages -
- BRETON E., **2004**, *Fréquentation de loisirs et gestion des aires littorales protégées de la France de l'Ouest* Bulletin de l'association des Géographes Français, 3 - 275-287 -
- BROWN I., **2006**, *Modelling future landscape change on coastal floodplains using a rule-based GIS*, Environmental Modelling and Software, 21 - 1479-1490 -
- BUDETTA P., SANTO A. and VIVENZIO F., **2008**, *Landslide hazard mapping along the coastline of the Cilento region (Italy) by means of a GIS-based parameter rating approach*, Geomorphology, 94 - 340-352 -

BYRNES M. R. and HILAND M. W., **1995**, *Large scale sediment transport patterns on the continental shelf and influence on shoreline response: St Andrew Sound, Georgia to Nassau Sound, Florida, USA*, Marine Geology, 126 - 19-43 -

<b>C</b>
----------

CAROFF V., **1998**, *Contribution à l'étude de l'évolution de la bathymétrie dans le golfe du Morbihan : exploitation de données historiques disponibles*, MST Aménagement, Université Nantes - ODEM, IFREMER, SHOM, - 104 pages -

CARPENTER S. R., WALKER B. H., ANDERIES J. M. and ABEL N., **2001**, *From metaphor to measurements: resilience of what to what?*, Ecosystems, 4 - 765-781 -

CARPENTIER F. G., **2005**, *Introduction aux analyses multidimensionnelles*, PSRS83B, <http://geai.univ-brest.fr/~carpenti/2004-2005/PSRS83B-4.pdf>, - 1-10 pages -

CARTER R. W. G., **1999**, *Coastal Environments, an introduction to the Physical, Ecological and Cultural systems of coastlines*, Academic Press, San diego -617 pages pages -

CARTER R. W. G., **1986**, *The morphodynamics of beach-ridge formation: Magilligan, Northern Ireland*, Marine Geology, 73 - 191-214 -

CAUDE G. and MAZZOLINI P., **1987**, *Le risque pour le littoral de l'hexagone* Actes du colloque Mer et littoral, couple à risque, La documentation française, - 311-325 pages -

CAZES-DUVAT V., PASKOFF R. and DURAND P., **2002**, *Evolution récente des deux îles coralliennes du banc des Seychelles (océan indien occidental): Denis et Bird* Géomorphologie: relief, processus, environnement, 3 - 211-222 -

CÉBRON D., CHARRIER C., COTTO G., DAUVIER F., DESCHAMPS L. and FILIPPI M., **2005**, *Tableaux de l'agriculture bretonne*, Rapport de la DRAFT Bretagne, - 169 pages -

CHAIBI M. and SEDRATI M., **2009**, *Coastal erosion induced by human activities: The case of two embayed beaches on the Moroccan coast*, Journal of Coastal Research, Proceedings of the ICS2009 - 1184-1188 -

CHAPMAN D. M., **2009**, *Coastal Dunes of New South Wales: Status and Management* Sydney: University of Sidney Coastal Studies unit Technical Report, 3 - 89 pages -

CHASSE C. and GLEMAREC M., **1976**, *Atlas du littoral français: Atlas des fonds meubles du plateau continental du Golfe de Gascogne - Cartes Biosédimentaires* - Laboratoire d'Océanographie Biologique - Université de Bretagne Occidentale.

CHEN S., CHEN L., LIU Q. H., LI X. and TAN Q., **2005**, *Remote sensing and GIS based integrated analysis of coastal changes and their environmental impacts in Lingding Bay, Pearl River Estuary, South China*, Ocean and coastal management, 48 - 65-83 -

CHENG P., GAO S. and BOKUNIEWICZ H., **2004**, *Net sediment transport patterns over the Bohai strait based on grain size trend analysis*, Estuarine coastal and shelf science, 60 - 203-212 -

CLAYTONE K. M. and SHAMONN N., **1998**, *A new approach to the relief of Great Britain. II. A Classification of rocks based on relative resistance to denudation* Geomorphology, 25 - 155-171 -

CLUS-AUBY C., PASKOFF R. and VERGER F., **2006**, *Le patrimoine foncier du conservatoire du littoral et le changement climatique: scénarios d'évolution par érosion et submersion*, Annales de la Géographie, 648 - 115-132 -

COHEN Olivier, DOLIQUE Franck, ANTHONY Edward J. and HÉQUETTE Arnaud, **2002** *L'approche morphodynamique en géomorphologie littorale*, 191 - 210, (eds):Anonymus, Le littoral. Regards, pratiques et savoirs,

CONAN S., **2005**, *Elaboration d'un outil d'aide à la gestion de l'érosion côtière: Exemple de la Communauté d'Agglomération du Pays de Lorient*, -Mémoire de Master Recherche - Université de Rennes 2, 100 pages pages-

Conseil Général du Morbihan, **1997**, *Schéma Départemental de développement et d'aménagements touristiques pour le Morbihan*, - 58 pages -

COOPER N. J. and PONTEE N. L., **2006**, *Appraisal and evolution of the littoral "sediment cell" concept in applied coastal management: Experiences from England and Wales*, Ocean and coastal management, 49 - 498-510 -

CORLAY J. P., **1998** *Facteurs et cycles d'occupation des littoraux*, 97-161, (eds):C. Cabanne, J. Chaussade, J. P. Corlay, A. Miossec, J. M. Miossec and J. P. Pinot. , Géographie Humaine des Littoraux Maritimes, Paris

CORLAY J. P., **1995**, *Géographie sociale, géographie du littoral*, Noroi, 165 - 247-265 -

COSTA S., **2005**, *Falaises à recul rapide et plages de galets : de la quantification des dynamiques d'un système complexe à la caractérisation des risques induits*, Habilitation à Diriger des Recherches , Université de Bretagne Occidentale. 2 volumes. Tome 1 -330 pages -

COSTA S. and DAVIDSON R., **2004**, *Ouvrages transversaux portuaires et impacts hydrosédimentaires: le cas du port de Dieppe (Haute Normandie)*, Bulletin de l'association des Géographes Français, 3 - 321-333 -

COSTA S., GOURMELON F., AUGRIS C., CLABAUT P. and LATTEUX B., **2005**, *Apport de l'approche systémique et pluridisciplinaire dans l'étude du domaine littoral et marin de la Seine-Maritime (France)*, Noroi, 196 - 91-108 -

COSTA S., LAGEAT Y., HÉNAFF A., DELAHAYE D. and PLESSIS E., **2003**, *Origine de la variabilité spatiale du recul des falaises crayeuses du nord-ouest du Bassin de Paris. L'exemple du littoral haut-normand (France)*, Hommes et Terres du Nord, 1 - 22-31 -

COWELL P. J. and THOM B. G., **1994** *Morphodynamics of coastal evolution*, (eds):R. W. G. Carter and C. D. Woodroffe. , Coastal Evolution: Late Quaternary shoreline morphodynamics,

CRAWLEY B. and ASTON J., **2003** *GIS for sustainable coastal zone management in the Pacific: a strategy*, 85-96, (eds):D. R. Green and S. D. King. , Coastal and Marine Geo Information Systems: Applying the Technology to the Environment, Dordrecht

## D

DAI Z. J., LI C. C. and ZHANG Q. L., **2004**, *Fractal analysis of shoreline patterns for crenulate-bay beaches, Southern China*, Estuarine coastal and shelf science, 61 - 65-71 -

DAIL H. J., MERRIFIELD M. A. and BEVIS M., **2000**, *Steep beach morphology changes due to energetic wave forcing*, Marine Geology, 162 - 443-458 -

DAN S., STIVE M. J. F., WALSTRA D. J. R. and PANIN N., **2009**, *Wave climate, coastal sediment budget and shoreline changes for the Danube Delta*, Marine Geology, 262 - 39-49 -

DANIEL F., **1992**, *Analyse socio-économique globale de la zone littorale Vannes-Auray: agriculture, gestion de l'espace et environnement - Diagnostic et Propositions*. -125 pages - Mémoire de DESS aménagement rural, Université de Lyon 2 pages -

DAUPHINÉ A. and PROVITOLLO D., **2004**, *Résilience, Risques et SIG* site internet: <http://www.univ-mer.com/docs/doc-pdf/relience.pdf>,

DAVENPORT J. and DAVENPORT J. L., **2006**, *The impact of tourism and personal leisure transport on coastal environments: A review*, Estuarine coastal and shelf science, 67 - 280-292 -

DAWSON J. L. and SMITHERS S. C., **2010**, *Shoreline and beach volume change between 1967 and 2007 at Raine Island, Great Barrier Reef, Australia*, Global and Planetary change, doi:10.1016/j.gloplacha.2010.01.026

DE KERGARIOU G., **1996**, *Etude de l'envasement dans le Golfe du Morbihan. Impact de la conchyliculture actuelle*, Rapport Scientifique - Ifremer -16 pages -

DE LA TORRE Y., GOURMELON F. and AUGRIS C., **2002**, *Evolution morpho-sédimentaire des fonds marins côtiers. Base d'information géographique, méthodes et limites*, Revue Internationale de géomatique, 12 - 311-324-

DE SOUZA PEREIRA P., CALLIARI L. J. and DO CARMO BARLETTA R., **2010**, *Heterogeneity and homogeneity of Southern Brazilian beaches: a morphodynamic and statistical approach*, Continental Shelf Research, 30 - 270-280 -

DEBOUDT P., **2010**, *Towards coastal risk management in France*, Ocean and coastal management, doi:10.1016/j.ocecoaman.2010.04.013

DEFEO O., MCLACHLAN A., SCHOEMAN D. S., SCHLACHER T. A., DUGAN J., JONES A., LASTRA M. and SCAPINI F., **2009**, *Threats to sandy beach ecosystems: a review*, Estuarine coastal and shelf science, 81 - 1-12-

DEHOUC A., DUPUIS H. and SÉNÉCHAL N., **2009**, *Pocket beach hydrodynamics: The example of four macrotidal beaches, Brittany, France*, Marine Geology, 266 - 1-17 -

DEHOUC Aurélie, **2006**, *Morphodynamique des plages sableuses de la mer d'Iroise (Finistère)*, Thèse de doctorat - Université de Bretagne Occidentale -217 pages -

DELANOË Y. and PINOT J. P., **1977**, *Littoraux et vallées holocènes submergés en Baie de Concarneau (Bretagne Méridionale)*, Bulletin de l'association française pour l'étude du Quaternaire, - 27-38 -

DENNOUNI N., **2007**, *Modélisation UML des données géodésiques et implémentation en objet relationnel sous SGBD Oracle 8i JIG'2007-3* journées Internationales sur l'Informatique Géographique, - 212-219 -

DEPOID H., **2004**, *Impacts en Bretagne des nouvelles demandes touristiques*, Rapport du Conseil Economique et Social de la région Bretagne, - 164 pages -

D'ERCOLE R. and PIGEON P., **1999**, *L'expertise internationale des risques dits naturels: intérêt géographique*, Annales de Géographie, 608 - 339-357 -

DESACHY B., **2008**, *De la formalisation du traitement des données stratigraphiques en archéologie de terrain*, Thèse de doctorat, Université de Paris , Tome 1: aperçu historiographique - notes méthodologiques, 193 pages

DOBOSIEWICZ J., **2001**, *Applications of Digital Elevation Models and Geographic Information Systems to coastal Flood Studies along the Shoreline of Raritan Bay, New Jersey*, Environmental Geosciences, 8 - 11-20 -

DOLAND R., FENSTER M. S. and HOLME S. J., **1991**, *Temporal Analysis of Shoreline Recession and Accretion*, Journal of Coastal Research, 7 - 723-744 -

DOLIQUE F., *Articulations morphodynamiques: Exemples en milieux littoraux tempérés et tropicaux*, Habilitation à Diriger les Recherches, Tome 1: Volume inédit, 234 pages

DORNBUSCH U., ROBINSON D. A., MOSES C. A. and WILLIAMS R. B. G., **2008**, *Temporal and spatial variations of chalk cliff retreat in East sussex, 1873 to 2001*, Marine Geology, 249 - 271-282 -

DUBOIS A., **2007**, *Cartographie morpho-sédimentaire du Golfe du Morbihan (France): Héritage quaternaire et dynamique sédimentaire actuelle*, -Mémoire de Master - Université Rennes 1- 25 pages -

DUBOIS R. N., **1988**, *Seasonal changes in beach topography and beach volume in Delaware* Marine Geology, 81 - 79-96 -

DUDOUIT FICHET A., QUÉNOL H., PLANCHON O. and DOUVINET J., **2009**, *Analysis of local wind systems in the Caen region (Lower Normandy, France)* International Journal of Climatology, DOI: 10.1002/joc.1889.



DURAND P., **1998**, *Cinématique d'un littoral sableux à partir de photographies aériennes et de cartes topographiques. Exemple du littoral d'Argelès-Plage à Saint Cyprien*, Géomorphologie: relief, processus, environnement, 2

## E

EL-ASMAR H. M. and WHITE K., **2002**, *Changes in coastal sediment transport processes due to construction of New Damietta Harbour, Nile Delta, Egypt*, Coastal Engineering, 46 - 127-138 -

EMERY K. O. and KUHN G. G., **1982**, *Sea cliffs: their processes, profiles and classification*, Bulletin geological Society of America, 93 - 644-654 -

ESCOFFIER B. and PAGÈS J., **1998**, *Analyses factorielles simples et multiples, objectifs, méthodes et interprétation*, Dunod, Paris, 284 pages

ESTOURNES G., MENIER D. and GUILLOCHEAU F., **April 2008**, *Facies, granulometry, morphoscopy and eoscopy of south armorican continental shelf sediments (inner shelf)* XI International Symposium on Oceanography - Donastian-San Sebastian, - 70 pages -

ESTOURNES G., MENIER D. and GUILLOCHEAU F., **2007**, *La mise en place du prisme holocène au large d'Etel: sédimentologie, morphoscopy et exoscopy (Morbihan)*, Congrès ASF - oral session - 116.

## F

FABLET R., **1995**, *Paysage, littoral et gradient: Une lecture de la structuration de l'espace. Exemple de la partie orientale du Golfe du Morbihan (de Sarzeau à Séné)*, Mémoire de maîtrise - Université de Rennes 2, - 204 pages -

FERREIRA O., GARCIA T., MATIAS A., TABORDA R. and DIAS J. A., **2006**, *An integrated method for the determination of set-back lines for coastal erosion hazards on sandy shores*, Continental Shelf Research, 26 - 1030-1044 -

FERRONIERE G., **1921**, *Notes de géologie marine*, Bulletin de la société de Géologie Minière de Bretagne, II - 187-211 -

FINKELSTEIN K., **1982**, *Morphological variations and sediment transport in crenulate -bay beaches, Kodiak Island, Alaska*, Marine Geology, 47 - 261-281 -

FLETCHER Charles, ROONEY John, BARBEE Mathew, LIM SIANG Chyn and RICHMOND Bruce, **2003**, *Mapping Shoreline Change using Digital Orthophotogrammetry on Maui, Hawaii*, Journal of Coastal Research, 38 - 106-124 -

FORBES D. L., ORFORD J. D., CARTER R. W. G., SHAW J. and JENNINGS S. C., **1995**, *Morphodynamic evolution, self-organisation, and instability of coarse-clastic barriers on paraglacial coasts*, Marine Geology, 126 - 63-85 -

FRENCH J., **2006**, *Tidal marsh sedimentation and resilience to environmental change: Exploratory modelling of tidal, sea level and sediment supply forcing in predominantly allocthonous systems*, Marine Geology, 235 - 119-136 -

FRENCH P. W., **2001**, *Coastal Defenses: Processes, problems and solutions*, Routledge, London, 366 pages

FRIHI O. E., HASSAN M. S., DEABES E. A. and BADR A. E. M., **2001**, *Seasonal wave changes and the morphodynamic response of the beach inner shelf of Abu Qir Bay, Mediterranean coast, Egypt*, Marine Geology, 247 - 145-158 -

FÜSSEL H. M., **2007**, *Vulnerability: A generally applicable conceptual framework for climate change research* Global environmental change, 17 - 155-167 -

<b>G</b>
----------

GAILLOT S. and CHAVEROT S., **2001**, *Méthode d'étude des littoraux à faible évolution. Cas du delta du Golo (Corse) et du littoral du Touquet (Pas-de-Calais) en France*, Géomorphologie: relief, processus, environnement, 1 - 47-54 -

GALLET S. and ROZE F., **2001**, *Resistance of Atlantic Heathlands to trampling in Brittany (France): influence of vegetation type, season and weather conditions*, Biological conservation, 97 - 189-198 -

GALLOPIN G. C., **2006**, *Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity*, Global environmental change, 16 - 293-303 -

GALLOPIN G. C., **1991**, *Human dimensions of global change: linking the global and the local processes*. International Social Science Journal, 130 - 707-718 -

GAMBOLATI G. and TEATINI P., **2002**, *GIS Simulations of the Inundation Risk in the Coastal Lowlands of the Northern Adriatic Sea*, Mathematical and computer Modelling, 35 - 963-972 -

GAO S. and COLLINS M., **1992**, *Net sediment transport pattern inferred from grain-size trends, based upon definition of "transport vectors"*, Sedimentary Geology, 80 - 47-60 -

GAO S. and COLLINS M., **1991**, *A critique of the "Mc Laren method" for defining sediment transport paths – discussion*, Journal of sedimentary Petrology, 61 - 143-146 -

GASTINE M., **2005**, *Evolution spatio temporelle du trait de côte et diagnostic de l'érosion littorale de la Presqu'île de Quiberon et Penestin*, Laboratoire LEMEL, Université de Bretagne Sud.

GICQUEL J., **2005**, *Erosion côtière : impacts des aménagements et de la fréquentation du littoral du Golfe du Morbihan*, Mémoire de travail de fin d'études diplôme d'Ingénieur de l'ESGT - CAUE – ODEM - 72 pages -

GOMEZ PUJOL L., ORFILA A., CANELLAS B., ALVAREZ ELLACURIA A., MENDEZ P. J., MEDINA R. and TINTORÉ J., **2007**, *Morphodynamic classification of sandy beaches in low energetic marine environment* Marine Geology, 242 - 235-246 -

GORDON J. E., **1978**, *Structures*, Penguin Books, Harmondsworth

GOURLAY M. R., **1968**, *Beach and dune erosion tests*, - Delft Hydraulics Laboratory, report n°M935/M936 pages-

GOURMELON F. and ROBIN M., **2005**, *SIG et littoral*, Lavoisier, Paris, 328 pages

GRAHAM R. and READ R. E., **1986**, *Manual of aerial photography*, Focal Press, London -346 pages -

GRAS J., **2001** *La Bretagne*, 323-341, (eds):M. Baleste, J. C. Boyer, S. Montagné-Villette, J. Gras and C. Vareille. , La France, Les vingt deux régions, Paris

GREEN D. R. and KING S. D., **2005** *Applying the Geospatial Technologies to Estuary Environments*, 239-267, (eds):D. Bartlett and J. Smith. , GIS for Coastal Zone Management, Boca Raton

GREENWOOD R. O. and ORFORD J. D., **2008**, *Temporal patterns and processes of retreat of drumlin coastal cliffs - Strangford Lough, Northern Ireland*, Geomorphology, 94 - 153-169 –

GUILCHER A., **1948**, *Le relief de la Bretagne méridionale de la baie de Douarnenez à la Vilaine*, Poitiers, thèse de doctorat -682 pages -

GUZA R. and INMAN D. L., **1975**, *Edge Waves and Beach Cusps* Journal of Geophysical Research, 80 - 92037-30012 –

## H

HALLERMEIER J. R., **1981**, *A profile zonation for seasonal sand beaches from wave climate*, Coastal Engineering, 4 - 253-277 -

HAPKE C. and RICHMOND B., **2002**, *The impact of climatic and seismic events on the short term evolution of seacliffs based on 3-D mapping: northern Monterey Bay, California*, Marine Geology, 187 - 259-278 -

HASLETT S. K., **2000**, *Coastal systems*, Routledge, London -218 pages -

HENAFF A. and JEGU O., **1995**, *Conséquences des aménagements portuaires sur la sédimentation dans l'avant port d'Audierne* Noréis, 42

HÉNAFF A., LAGEAT Y., COSTA S. and PLESSIS E., **2002**, *Le recul des falaises crayeuses du Pays de Caux : détermination des processus d'érosion et quantification des rythmes d'évolution*, Géomorphologie: relief, processus, environnement, 2 - 107-118 -

HENDAME Y., **2006**, *Dynamique hydro-sédimentaire d'une avant côte de type macrotidal : le cas du littoral Nord-Pas-de-Calais, France*, -thèse de doctorat, Université du Littoral Côte d'Opale, 205 pages -

HÉQUETTE A., HEMDANE Y. and ANTHONY E. J., **2008**, *Sediment transport under wave and current combined flows on a tide-dominated shoreface, northern coast of France*, Marine Geology, 249 - 226-242 -

HESP P., **2002**, *Foredunes and blowouts: initiation, geomorphology and dynamics*, Geomorphology, 48 - 245-268-

HESP P., **1988** *Surfzone, beach and foredune interactions on the Australian southeast coast*, 15– 25, (eds):N. P. Psuty, Journal of Coastal Research Special Issue, vol. 3. C.E.R.F. Florida

HILLS H. W., KELLEY J. T., BELKNAP D. F. and DICKSON S. M., **2004**, *The effects of storms and storm-generated currents on sand beaches in Southern Maine, USA*, Marine Geology, 210 - 149-168 -

HSU J. C. R., SILVESTER R. and XIA Y. M. **1987**, *New characteristics of equilibrium shaped bays*, - 140-144 pages -

HUMPHRIES L. P. and LIGDAS C. N., **2003** *A GIS Application for the study of Beach Morphodynamics*, 174-189, (eds):D. R. Green and S. D. King. , Coastal and Marine Geo Information Systems: Applying the Technology to the Environment, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht

HYLGAARD T. and LIDDLE M. J., **1981**, *The effect of human trampling on a sand dune ecosystem dominated by *Eupatorium nigrum**, Journal of Applied Ecology, 18 - 559-569 –

## I

IFEN , **2007**, *Analyse statistique et cartographie de l'érosion marine* Les dossier de l'IFEN, 6 - 1-39 -

INMAN D. L., ELWANY M. H. S. and JENKINS S. A., **1993**, *Shorerise and Bar-Berm Profiles on Ocean Beaches* Journal of Geophysical Research, 98 - 18181-18199 -

IRIBARREN C. R. and NOGALES C., **1949**, *Protection des Ports*, Proceedings of the 17th International Naval Conference, - 31-80 –

## J

JABALOY-SANCHEZ A., JOSÉ LABO F., AZOR A., BARCENAS P., FERNANDEZ-SALAS L. M., DIAZ DEL RIO V. and PÉRE-PENA J. V., **2010**, *Human-driven coastline changes in the Adra River deltaic system, southeast Spain*, Geomorphology, 119 - 9-22 -

JAMES P. M., **2007**, *An objective classification method for Hess and Brezowsky Grosswetterlagen Europe*, Theoretical and Applied Climatology, 88 - 17-42 -

JIMENEZ J. A., GUILLEN J. and FALQUÉS A., **2008**, *Comment on the article "Morphodynamic classification of sandy beaches in low energetic marine environment" by Gómez-Pujol, L., Orfila, A., Cañellas, B., Alvarez-Ellacuria, A., Méndez, F.J., Medina, R. and Tintoré, J. Marine Geology, 242, pp. 235-246, 200, Marine Geology, 255 - 96-101 -*

JOLY F., **1997**, *Glossaire de géomorphologie: base de données sémiologiques pour la cartographie*, Masson/Armand Colin, Paris -325 pages -

JOUAN D., **2005**, *Evolution de la variabilité de la fréquence et de l'intensité des tempêtes en Europe de l'Ouest*, Thèse de doctorat - Université Rennes II - Haute Bretagne -167 pages pages -

JUHEL C., **1999**, *Mémoire de maîtrise - 2 tomes - Université de Rennes 2*,

JUSSY M. and GUILCHER A., **1962**, *Les cordons littoraux entre la Presqu'île de Quiberon et l'Estuaire de la Vilaine* Cahiers Océanographiques, 8 - 543-572 -

## K

KASSER M. and EGELS Y., **2001**, *Photogrammétrie numérique*, Hermès Science Publications, Lavoisier, Paris

KITSIOU D., COCCOSSIS H. and KARYDIS M., **2002**, *Multi-dimensional evaluation and ranking of coastal areas using GIS and multiple criteria choice methods*, The Science of the Total Environment, 284 - 1-17 -

KLEIN M. and ZVIELY D., **2001**, *The environmental impact of marina development on adjacent beaches: a case study of the Herzliya marina, Israel*, Applied Geography, 21 - 145-156 -

KLEIN R. J. T., NICHOLLS R. J. and THOMALLA F., **2003**, *Resilience to natural hazards: How useful is this concept?*, Environmental Hazards, 5 - 35-45 -

KOMAR P. D., **1996**, *The budget of littoral sediments: concepts and applications* Shore and Beaches, 3 - 18-26 -

KOMAR P. D., **1976**, *Beach processes and sedimentation*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ -333 pages -

KOMAR P. D. and GAUGHAN M. K., **1972**, *Airy wave theory and breaker height protection*, Proceedings of the 13th International Conference of Coastal Engineering, - 405-418 -

KONICKI K. M. and HOLMAN R. A., **2000**, *The statistics and kinematics of transverse sand bars on an open coast*, Marine Geology, 169 - 69-101 -

KONT A., JAAGUS J. and AUNAP R., **2003**, *Climate change scenarios and the effect of sea level rise for Estonia*, Global and Planetary change, 36 - 1-15 -

KROON A., LARSON M., MÖLLER I., YOKOKI H., ROZYNSKI G., COX J. and LARROUDE P., **2008**, *Statistical analysis of coastal morphological data sets over seasonal to decadal time scales*, Coastal Engineering, 55 - 581-600 -

## L

- LABARTHE H. and PIROT F. **2008**, De la modélisation HBDS à l'implémentation sur ArcCatalog-ArcInfo: un simple prolongement. A propos de la géodatabase obediences.
- LARSON M., CAPOBIANCO M. and HANSON H., **2000**, *Relationship between beach profiles and waves at Duck, North Carolina, determined by canonical correlation analysis*, Marine Geology, 163 - 275-288 -
- LARSON M. and KRAUS N. C., **1995**, *Prediction of cross shore sediment transport at different spatial and temporal scales*, Marine Geology, 126 - 111-127 -
- LARSON M. and KRAUS N. C., **1994**, *Temporal and spatial scales of beaches profiles changes, Duck, North Carolina*, Marine Geology, 117 - 75-94 -
- LATTEUX B., **2002**, *Défense contre la mer de l'isthme de Penthievre: Etude diagnostic du littoral entre les pointes de Kerhostin et Pen er lè*, Rapport scientifique, Ifremer -34 pages -
- LE BERRE I., HÉNAFF A., DEVOGÈLE T., MASCRET A. and WENZEL F., **2005**, *Spot 5: un outil pertinent pour le suivi du trait de côte?* Noréis, 196 - 23-25 -
- LE CORNEC E. and SCHOORENS J., **2007**, *Etude de l'aléa submersion marine sur le site de la grande plage de Gâvres*, -102 pages, Rapport scientifique non publié - DHI, Cetmef, Geos.
- LE CORRE C., AUVRAY B., BALLEVRE M. and ROBARDET M., **1991**, *Le Massif Armoricaïn*, Société Géologique - Bulletin de Strasbourg, 44 - 31-103 -
- LE ROUX J. P., **1994**, *An alternative approach to the identification of net sediment transport paths based on grain size trends*, Sedimentary Geology, 94 - 97-107 -
- LEATHERMAN Stephen. **2003**, *Shoreline Change Mapping and Management Along the U.S. East Coast*, Journal of Coastal Research, 38, - 5-13 pages -
- LEE G. H., NICHOLLS R. J. and BIRKEMEIER W. A., **1998**, *Storm-driven variability of the beach-nearshore profile at Duck, North Carolina, USA*, Marine Geology, 148 - 163-177 -
- LEE H. J. and RYU O., **2008**, *Changes in topography and surface sediments by the Saemangeum dyke in an estuarine complex, West coast of Korea*, Continental Shelf Research, 28 - 1177-1189 -
- LEFEBVRE B., **2008**, *Modéliser les dynamiques spatiales d'un tissu urbain dans la longue durée (en plan et en volume)*, In Situ, 9 - 1-14 -
- LEMASSON L., **1999**, *Vents et tempêtes sur le littoral de l'Ouest de la France: variabilité, variations et conséquences morphologiques*, Thèse de doctorat - Université Rennes 2 – tome 1-186 pages -
- LEMAUVIEL S. and ROZÉ G., **2003**, *Response of Three Plant Communities to Trampling in a Sand Dune System in Brittany (France)*, Environmental management, 31 - 0227-0235 -
- LEVIN N. and BEN-DOR E., **2004**, *Monitoring sand dune stabilization along the coastal dunes of Ashdod-Nizanim, Israel, 1945-1999*, Journal of Arid Environments, 58 - 335-355 -
- LEVOY F., ANTHONY E. J., BARUSSEAU J. P., HOWA H. and TESSIER B., **1998**, *Morphodynamique d'une plage macrotidale à barres*, Compte Rendu de l'Académie des Sciences - Serie IIA - Earth and Planetary Science, 327 - 811-818 -
- LEVOY F., ANTHONY E. J., MONFORT O. and LARSONNEUR C. **2000**, *The morphodynamics of megatidal beaches in Normandy, France*, Marine Geology, 171, - 39-59 -
- LEVOY F., MONFORT O. and LARSONNEUR C., **2001**, *Hydrodynamic variability on megatidal beaches, Normandy, France*, Continental Shelf Research, 21 - 563-586 -

LEVOY Franck, **1994**, *Evolution et Fonctionnement hydrosédimentaire des plages macrotidales. L'exemple de la côte Ouest du Cotentin*, - thèse de doctorat - 424 pages -

LIDDLE M. J. and GRIEG-SMITH P., **1975**, *A Survey of Tracks and Paths in a Sand Dune Ecosystem. II. Vegetation* The Journal of Applied Ecology, 12 - 909-930 -

LONG A. J., WALLER M. P. and PLATER A. J., **2006**, *Coastal resilience and late Holocene tidal inlet history: The evolution of Dungeness Foreland and the Romney Marsh depositional complex (U.K)*, Geomorphology, 82 - 309-330 -

LOZANO I., DEVOY R. J. N., MAY W. and ANDERSEN U., **2004**, *Storminess and vulnerability along the Atlantic coastlines of Europe: analysis of storm records and of a greenhouse gases induced climate scenario*, Marine Geology, 210 - 205-225 -

## M

MARCOS F., JANIN J. M. and LE SAUX J. M., **1996**, *Modélisation hydrodynamique du Golfe du Morbihan* Rapport scientifique non publié, EDF-DER - 47 pages -

MASSELINK G., AUSTIN M., TINKER J., O'HARE T. and RUSSEL P., **2008**, *Cross-shore sediment transport and morphological response on a macrotidal beach with intertidal bar morphology, Truc Vert, France*, Marine Geology, 251 - 141-155 -

MASSELINK G. and HUGHES M/G, **2003**, *Intoduction to coastal processes and geomorphology*, Hodder Arnold, London -1-354 pages -

MASSELINK G., KROON A. and DAVIDSON-ARNOTT R. G. D., **2006**, *Morphodynamics of intertidal bars in wave-dominated coastal settings — A review*, Geomorphology, 73 - 33-49 -

MASSELINK G. and PATTIARATCHI C. B., **2001**, *Seasonal changes in beach morphology along the sheltered coastline of Perth, Western Australia*, Marine Geology, 172 - 243-263 -

MASSELINK G. and SHORT A. D., **1993**, *The effect of tide range on beach morphodynamics and morphology: a conceptual beach model* Journal of Coastal Research, 9 - 785-800 -

MATHER A. S. and RITCHIE W., **1997**, *The beaches of the highlands and Islands of Scotland*, Perth: Countryside commission of Scotland.

MAY J. P. and TANNER W. F., **1973** *The littoral power gradient and shoreline changes*, 43-60, (eds):D. R. Coates, Coastal Geomorphology, State University New York

MAY V. J. and HEEPS C., **1985**, *The nature and rates of change on chalk coastlines*, Zeitschrift für Geomorphologie N.F., 57 - 81-94 -

MC LAREN P. and BOWLES D., **1985**, *The effects of sediment transport on grain size distributions*, Journal of sedimentology and petrology, 55 - 457-470 -

MC LAREN P., HILL S. H. and BOWLES D., **2007**, *Deriving transport pathways in a sediment trend analysis (STA)* Sedimentary Geology, 202 - 489-498 -

MENIER D., **2004**, *Morphologie et remplissage des vallées fossiles sud-armoricaines: apport de la stratigraphie sismique*. Thèse de Doctorat de l'Université de Bretagne Sud - Mémoire Géosciences Rennes, n°110 -202 pages -

MENIER D., REYNAUD J-Y, PROUST J-N, GUILLOCHEAU F., GUENNOC P., BONNET S., TESSIER B. and GOUBERT E., **2006**, *Basement control on shaping and infilling of valleys incised at the southern coast of Brittany, France*, Society for Sedimentary Geology, 85 - 37-55 -

MERCIER S., **1997**, *Identification et définition du littoral de la Baie de Quiberon à travers le thème du transit sédimentaire*, Mémoire de DEA, Université de Nantes, 85 pages

METEO FRANCE, **1990**, *Normales climatiques 1961-1990*. Service Central d'Exploitation de la Météorologie, Toulouse.

MEUR-FÉREC C., **2008**, *De la dynamique naturelle à la gestion intégrée de l'espace littoral: un itinéraire de géographe*, Habilitation à Diriger les Recherches - Université de Nantes -249 pages -

MIGNIOT C., **1989**, *Etude sédimentologique de l'épi de Plouhinec à l'entrée de la rivière d'Etel: Aménagement possible de l'embouchure*, Rapport Scientifique de la D.D.E. - Service Maritime -, - 32 pages -

MILLS J. P., BUCKLEY S. J., MITCHELL H. L., CLARKE P. J. and EDWARDS S. J., **2005**, *A geomatics data integration technique for coastal change monitoring* Earth Surface Processes and Landforms, 30 - 651-664 -

MINVIELLE E. and SOUIAH S. A., **2003**, *L'analyse statistique et spatiale: Statistiques, Cartographie, Télédétection*, SIF, Edition du Temps, Nantes, 284 pages

MIOSSEC A., **1998** *Rythmes et Bilans dans les domaines littoraux*, 295-334, (eds):Y. Veyret, L'érosion entre nature et société, Paris

MIOSSEC A., **1995**, *Conséquences de la pression touristique sur l'espace physique littoral* Noroi, 133 - 153-163 -

MOHD-LOKMAN H., ROSNAN Y., EJRIA S., SHAZILI N. A. M. and KASSIM K. K. Y., **1998**, *Deducing sediment transport direction and the relative importance of rivers on a tropical microtidal beach using the "Mc Laren model"*, Environmental Geology, 34 - 138-134 -

MOORE L. J., **2000**, *Shoreline mapping techniques*, Journal of Coastal Research, 16 - 111-124 -

MOORE L. J. and GRIGGS G. B., **2002**, *Long term cliff retreat and erosion hotspots along the central shores of the Monterey Bay National Marine Sanctuary*, Marine Geology, 181 - 265-283 -

MORZADEC M. T. and MONNIER J. M., **1982**, *Chronologie relative des cordons littoraux pléistocène de Bretagne*, Bulletin de l'Association Française pour l'étude du Quaternaire, 4 - 195-2003 -

## N

NAYLOR L. A., STEPHENSON W. J. and TRENHAILE A. S., **2010**, *Rock coast geomorphology: Recent advances and future research directions*, Geomorphology, 114 - 3-11 -

NEBOIT-GUIHLOT R., **1999**, *Autour d'un concept d'érosion accélérée: l'Homme, le temps et la morphogénèse*, Géomorphologie: relief, processus, environnement, 2

NICHOLLS R. J., BIRKEMEIER W. A. and LEE G., **1998**, *Evaluation of depth closure using data from Duck, NC, USA*, Marine Geology, 148 - 179-201 -

NORDSTROM K. F., **2000**, *Beaches and Dunes of Developed Coasts*, Cambridge University Press, Cambridge - 338 pages -

NYSSSEN J., POESEN J., MOEYERSONS J., DECKERS J. and MITIKU H., **2006**, *Processes and rates of rock fragment displacement on cliffs and scree slopes in an amba landscape, Ethiopia*, Geomorphology, 81 - 265-275-

## O

OJEDA ZUJAR J., BORNIET L., PÉREZ ROMERO A. M. and LODER J., **2003** *Monitoring coastal morphological changes using topographical methods, softcopy photogrammetry and GIS, Huelva (Andalucia, Spain)*, 137-152, (eds):D. R. Green and S. D. King. , Coastal and Marine Geo Information Systems: Applying the Technology to the Environment, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht

OLLIVIER-PIERRE M. F. and ESTEOULE-CHOUX J., **1980**, *Palynologie, sédimentologie, reconstitution des climats: Application au Paléocène du Massif Armoricaïn*, Mémoire du Muséum d'Histoire Naturelle, Série B: botanique, palynologie et climats, XXVIII - 232-238 -

ORFORD J. D., FORBES D. L. and JENNINGS S. C., **2002**, *Organisational controls, typologies and time scales of paraglacial gravel-dominated coastal systems*, Geomorphology, 48 - 51-85 -

O'SULLIVAN D. and UNWIN N., **2003**, *Geographic Information Analysis*, J. Wiley, Londres

<b>P</b>
----------

PARKER Bruce B., **2003**, *the difficulties in measuring a consistently defined shoreline: The problem of vertical referencing*, Journal of Coastal Research, 38 - 44-56 -

PASKOFF R. and CLUS-AUBY C., **2007**, *L'érosion des plages: Les causes, les remèdes*, Institut océanographique, Paris-Monaco -184 pages -

PASKOFF Roland, **1985**, *Les Littoraux: Impact des aménagements sur leur évolution*, Masson Paris -1-184 pages -

PEDREROS R., HOWA H. L. and MICHEL D., **1996**, *Application of grain size trend analysis for the determination of sediment transport pathways in intertidal areas*, Marine Geology, 135 - 35-49 -

PENNOBER G., **1999**, *Analyse spatiale de l'environnement côtier de l'archipel des Bijagos (Guinée-Bissau)*, - Thèse de doctorat - Université de Bretagne Occidentale - 193 pages pages -

PENNOBER G. and GEORIS CREUSEVEAU J., **2005** *La démarche SIG de planification côtière en Mauritanie*, 109 - 125, (eds):F. Gourmelon and M. Robin. , SIG et littoral, Paris

PIAN S., **2006**, *Etude quantitative des variations du trait de cote dans le Golfe du Morbihan entre 1952 et 2000 à partir de photographies aériennes: évaluation des phénomènes d'érosion et observation des dynamiques géomorphologiques*, -Mémoire de Master 2 Recherche, Université Rennes2, 32 pages pages -

PIAN S., REGNAULD H. and MENIER D., **16-18 Janvier 2008**, *Interactions nature société et vulnérabilité du littoral: quelques exemples en Bretagne Sud* Actes du colloque international pluridisciplinaire " Le littoral: subir, dire, agir", Lille, France - <http://www.ifresi.univ-lille.fr/Littoral2008/Themes/Theme4/Seance1/Pian.pdf> -

PIAN S., REGNAULD H. and MENIER D., **10.06.2007**, *La carte qui change les concepts* EspacesTemps.net, - <http://espacestems.net/document2466.html> -

PIERRE G., **2006**, *Processes and rate of retreat of the clay and sandstone sea cliffs of the northern Boulonnais (France)*, Geomorphology, 73 - 64-77 -

PIGEON P., **2005**, *Géographie critique des risques*, Economica, Paris, -217 pages -

PINOT Jean P., **1974**, *Le précontinent breton entre Penmarc'h, Belle-île et l'escarpement continental*, thèse de doctorat -256 pages pages -

PIRAZZOLI P. A., **2000**, *Surges, atmospheric pressure and wind change and flooding probability on the Atlantic coast of France* Oceanologica acta, 23 - 643-661 -

PIRAZZOLI P. A., REGNAULD H. and LEMASSON L., **2004**, *Changes in storminess and surges in western France during the last century* Marine Geology, 210 - 307-323 -

PIROT F. and SAINT GERAND T., **2005**, *La Géodatabase sous ArcGIS, des fondements conceptuels à l'implémentation logicielle*, Géomatique Expert, 41/42 - 61-66 -

PIROT F. and SAINT GERAND T. **2004**, *Du concept HBDS à la géodatabase topologique: 25 ans les séparent.*



PLANCHON O., QUÉNOL H., DUPONT N. and CORGNE S., **2009**, *Application of the Hess-Brezowsky classification to the identification of weather patterns causing heavy winter rainfall in Brittany (France)*, Natural Hazards and Earth System Sciences, 9

POIZOT E., MÉAR Y. and BISCARA L., **2008**, *Sediment trend analysis through the variation of granulometric parameters: A review of theories and application*, Earth-Science Reviews, 86 - 15-41 -

POTTIER P., **2005** *Planification côtière et SIG*, 87-107, (eds):F. Gourmelon and M. Robin. , SIG et littoral, Paris

PRISKIN J., **2003**, *Physical impacts of four-wheel drive related tourism and recreation in a semi-arid, natural coastal environment*, Ocean and coastal management, 46 - 127-155 -

PROBERT E., **2000**, *Dynamique et gestion du littoral à Pénestin, les plages de la Mine d'Or et du Maresclé*, Mémoire de Maîtrise, Université de Nantes, 155 pages

PROUST J. N., GUENNOC P., THINON I. and MENIER D., **2008**, *Carte Géologique de la France à 1/250 000 de la marge continentale - Lorient - Bretagne Sud*

PROUST J. N., MENIER D., GUILLOCHEAU F., GUENNOC P., BONNET S., ROUBY D. and LE CORRE C., **2001**, *Les vallées fossiles de la baie de la Vilaine: nature et évolution du prisme sédimentaire côtier du Pléistocène armoricain*, Bulletin de la société de Géologie de France, 172 - 737-749 -

PUMAIN D. and SAINT-JULIEN T., **2004**, *L'analyse spatiale: Localisations dans l'espace*, Armand Colin - Cours - , Paris, 167 pages

## R

RAPER J., LIVINGSTONE D., BRISTOW C. and MCCARTHY T., **2003** *Constructing a geomorphological database of coastal change using GIS*, 400-412, (eds):D. R. Green and S. D. King. , Coastal and Marine Geo Information Systems: Applying the Technology to the Environment, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht

REGNAULD, H., MAHMOUD, H., OSWALD, J., PLANCHON, O., MUSEREAU, J., **2010** *Tempêtes, rythme de fonctionnement d'une cellule sédimentaire et « espace d'accueil » : exemple de l'anse du Verger, Bretagne Nord, Noroît*, 215, 2, à paraître

REGNAULD H., FOURNIER J. and RAMOS P. A., **1995**, *Approches quantitatives de la discontinuité de l'évolution des formes littorales à différentes échelles de temps. Exemple du recul de la côte de l'Arrabida, Portugal*, Géomorphologie: relief, processus, environnement, 1 - 9-29 -

REGNAULD H., NICHOL S. L., GOFF J. R. and FONTUGNE M., **2004**, *Maoris, middens and dune front accretion rates on the NE coast of New Zealand: a resilience of a sedimentary system after a tsunami*, Geomorphologie - 45-54 -

REGNAULD H., TAPIA-DUSCHENE S. and PIAN S., **2005**, *Les impacts de l'élévation du niveau marin sur le littoral du département du Morbihan*, Rapport de l' Observatoire Départemental de L'Environnement du Morbihan, - 62 pages -

RICHARD N. and PALLIER Y., **1996**, *Cent ans de tourisme en Bretagne*, Editions Apogées, Rennes -159 pages -

RICKARD C. A., MCLACHLAN A. and KERLEY G. I. H., **1994**, *The effects of Vehicular and Pedestrian Traffic on Dune Vegetation in South Africa*, Ocean and coastal management, 23 - 225-247 -

RICKETTS P. J., **1992**, *Current Approaches in Geographic Information Systems for Coastal Management*, Marine Pollution Bulletin, 25 - 82-87 -

ROBIN M., **2005** *De la prévention à la protection des espaces côtiers face aux risques: l'apport des SIG*, 191-212, (eds):F. Gourmelon and M. Robin. , SIG et littoral, Paris

ROBIN M., **2002b** *Téledétection et modélisation du trait de côte et de sa cinématique*, 95, (eds):N. Baron-Yellès, L. Goeldner-Gianella and S. Velut. , Le Littoral: regards, pratiques et savoirs, Paris

ROBIN M., **2002a**, *Coastal hazards: a GIS approach to the men/nature interactions*, Annales de Géographie, 627-628 - 471-502 -

ROBIN M. and GOURMELON F., **2005**, *La télédétection et les S.I.G. dans les espaces côtiers: éléments de synthèse à travers le parcours de François Cuq*, Noröis, 196 - 11-21 -

ROBINSON D. A. and JERWOOD L. C., **1987**, *Sub-aerial weathering of chalk shore platforms during harsh winters in southeast Englan*, Marine Geology, 77 - 1-14 -

RODRIGUEZ I., MONTOYA I., SANCHEZ M. J. and CARRENO F., **2009**, *Geographic Information Systems applied to Integrated Coastal Zone Management*, Geomorphology, 107 - 100-105 -

ROGER A., **1997**, *Court traité du paysage*, Gallimard, Paris -321 pages -

RUGGIERO Peter, KAMINSKY George,M. and GELFENBAUM Guy. **2003**, *Linking Proxy-based and Datum-Based Shorelines on a high-energy Coastline: Implications for Shoreline change Analyses*, *Journal of Coastal Research*, 38, - 57-82 pages -

RUZ M. H., **2004**, *Modèles conceptuels de la formation des dunes bordières*, Bulletin de l'association des Géographes Français, 3 - 383-392 -

RUZ M. H. and ANTHONY E. J., **2008**, *Sand trapping by brushwood fences on a beach-foredune contact: the primacy of the local sediment budget*, Zeitschrift für Geomorphologie, 52 - 179-194 -

RUZ M. H., HÉQUETTE A. and MASPATAUD A., **2009**, *Identifying forcing conditions responsible for foredune erosion on the Northern coast of France*, Journal of Coastal Research, ICSProceedings - 356-360 -

## S

SABATIER F., **2001**, *Fonctionnement et dynamiques morpho-sédimentaires du littoral du delta du Rhône*, thèse de doctorat, Université Aix-MarseillesIII -272 pages -

SABATIER F., ANTHONY E. J., HÉQUETTE A., SUANEZ S., MUSEREAU J., RUZ M. H. and REGNAULD H., **2009**, *Morphodynamics of beach/dune systems: examples from the coast of France*, Géomorphologie: relief, processus, environnement, 1 - 25-43 -

SABATIER F., SAMAT O., ULLMANN A. and SUANEZ S., **2009**, *Connecting large-scale coastal behaviour with coastal management of the Rhône delta*, Geomorphology, 107 - 79-89 -

Safege., **2008**, *Modélisation hydrodynamique et sédimentologique du secteur de l'île de Groix - Belle-Ile*, - 120 pages-Rapport scientifique non publié - seamer - Unité océanographique -

SAINT GÉRARD T., **2005** *Comprendre pour mesurer ... ou mesurer pour comprendre? HDBS : pour une approche conceptuelle de la modélisation géographique du monde réel*. 261-298, (eds):Y. Guermond, Modélisation en géographie. Déterminisme et complexité, Paris

SALLENGER A. H. J., KRABILL W., BROCK J., SWIFT R., MANIZADE S. and STOCKDON H., **2002**, *Sea cliff erosion as a function of beach changes and extreme wave runup during the 1997-1998 El Nino*, Marine Geology, 187 - 279-297 -

SALOMÉ L., **2000**, *La Muse bretonne*, Le musée des Beaux Arts de Bretagne, Rennes

SALOMON J. C. and LAZURE P., **1988**, *Etude par modèle mathématique de quelques aspects de la circulation marine entre Quiberon et Noirmoutier*, Rapport Scientifique - Ifremer -104 pages -

- SANDERS L., **1990**, *L'analyse statistique des données en géographie*, Reclus, Montpellier - 267 pages-
- SATO S., **1996**, *Effects of winds and breaking waves on largescale coastal currents developed by winter storms in Japan Sea*, Coastal Engineering in Japan, 39 - 129-144 -
- SAUNDERS K. E. and DAVIDSON-ARNOTT R. G. D., **1990**, *Coastal dune response to natural disturbances. Proceedings of the Symposium on Coastal Sand Dunes*. NRC, Ottawa, - 321– 345. -
- SAYE S. E., VAN DER WAL D., PYE K. and BLOTT S. J., **2005**, *Beach-dune morphological relationships and erosion/accretion: An investigation at five sites in England and Wales using LIDAR data*, Geomorphology, - 128-155 -
- SCHEIDEGGER A. E., **1994**, *Hazards: singularities in geomorphic systems*, Geomorphology, 10 - 19-25 -
- SCHOONEES J. S., THERON A. K. and BEVIS D., **2006**, *Shoreline accretion and sand transport at groynes inside the Port of Richards Bay* Coastal Engineering, 53 - 1045-1058 -
- SCHUPP C. A., ROBERT THIELER E. and O'CONNELL F., **2005** *Mapping and Analysing Historical Shoreline Changes Using GIS*, 219-226, (eds):D. Bartlett and J. Smith. , GIS for Coastal Zone Management, Boca Raton
- SEDRATI M., **2006**, *Dynamique hydro-sédimentaire de l'avant côte de type macrotidal: le cas du littoral du Nord Pas de Calais - France*, Thèse de doctorat - Université du Littoral - Côte d'Opale -206 pages pages -
- SEDRATI M. and ANTHONY E. J., **2008**, *Sediments dynamics and morphological change on the upper beach of a multi-barred macrotidal foreshore, and implications for mesoscale shoreline retreat: Wissant Bay, Northern France*, Zeitschrift für Geomorphologie, 52 - 91-106 -
- SEDRATI M. and ANTHONY E. J., **2007**, *Storm-generated morphological change and longshore sand transport in the intertidal zone of a multi-barred macrotidal beach*, Marine Geology, 244 - 209-229 -
- SEDRATI M., CIAVOLA P., REYNS J., ARMAROLI C. and SIPKA V., **2009**, *Morphodynamics of a microtidal protected beach during low wave energy conditions*, Journal of Coastal Research, Proceedings of the ICS2009 - 198-202 -
- SELLIER D., **2009**, *Falaises rocheuses et versants réglés sur les côtes du Massif Armoricaïn: l'insertion de l'érosion littorale dans le continuum de la régularisation des versants*, Environnements Périglaciaires, 16 - 23-37 -
- SÉNÉCHAL N., GOURIOU T., CASTELLE B., PARISOT J-P, CAPO S., BUJAN S. and HOWA H., **2009**, *Morphodynamic response of a meso to macro tidal intermediate beach based on a long term data set*, Geomorphology, 10 - 263-274 -
- SHERMAN D. J., **1995**, *Problems of scale in the modeling and interpretation of coastal dunes*, Marine Geology, 124 - 339-349 -
- SHORT A. D., **1999**, *Handbook of beach and shoreface morphodynamics*, John Wiley & sons, LTD, Chichester - 379 pages -
- SHORT A. D. and AAGAARD T., **1993**, *Single and multi bar beach change models*, Journal of Coastal Research, - 141-157 –
- SHORT A. D. and HESP P. A., **1982**, *Wave, beach and dune interactions in southeast Australia*. Marine Geology, 48 - 259-284 -
- SHOSHANY M. and DAGANI A., **1992**, *Shoreline Detection by digital Processings of Aerial Photograph*, Journal of Coastal Research, 16 - 29-34 -
- SICKMÖLLER M., BLENDER R. and FRAEDRICH K., **2000**, *Observed winter cyclone tracks in the Northern Hemisphere in re-analysed ECMWF data*, Quaternary Journal of the Royal Meteorological Society, 126 - 591-620-

SIMPSON J. W., **1989**, *A conceptual and Historical Basis for spatial analysis*, Landscape and Urban Planning, 17 - 313-321 -

STAPOR F. W., **1971**, *Sediment budgets on a compartmented low-to-moderate energy coast in northwest Florida*, Marine Geology, 10 - M1-M7 -

STAPOR F. W. and MAY J., **1983**, *The cellular nature of littoral drift along the Northeast Florida Coast*, Marine Geology, 51 - 217-237 -

STAPOR F. W. and MAY J. P., **1983**, *The cellular nature of littoral drift along the Northeast Florida coast*, Marine Geology, 51 - 217-237 -

STAR J. and ESTES J., **1990**, *Geographic Information System: an introduction*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs - 303 pages -

STÉPANIAN A., **2002**, *Evolution morphodynamique d'une plage macrotidale à barres: Omaha beach (Normandie)*, Thèse de doctorat, Université de Caen - Basse Normandie, -276 pages -

STÉPANIAN A. and LEVOY F., **2003**, *Séquences d'évolution morphodynamique des barres intertidales d'une plage macrotidale*, Oceanologica acta, 26 - 167-177 -

STEPHAN P. and SUANEZ S., **2004**, *Dynamique morpho sédimentaire des cordons dunaires de Tréduder et de Saint Michel en Grève (Baie de Mont Saint Michel en Grève - Côte d'Armor) entre 1990 et 2003*, Bulletin de l'association des Géographes Français, 3 - 438-448 -

STIVE M. J. F., AARNINKHOF S. G. J., HAMM L., HANSON H., LARSON M., WIJNBERG K. M., NICHOLLS R. J. and CAPOBIANCO M., **2002**, *Variability of shore and shoreline evolution* Coastal Engineering, 47 - 211-235 -

STORLAZZI C. D. and FIELD M. E., **2000**, *Sediment distribution and transport along a rocky, embayed coast: Monterey Peninsula and Carmel Bay, California*, Marine Geology, 170 - 289-316 -

SUANEZ S., BRUZZI C. and ARNOUX-CHIAVASSA S., **1998**, *Données récentes sur l'évolution des fonds marins dans le secteur oriental du delta du Rhône (plage de Napoléon et flèche de la Gracieuse)*, Géomorphologie: relief, processus, environnement, 4 - 291-311 -

SUNAMURA T., **1992**, *Geomorphology of Rocky coasts*, John Wiley, Chichester

SUNAMURA T., **1977**, *A relationship between wave-induced cliff erosion and erosive force of waves*, Journal of Geology, 85 - 613-618 -

## T

TESSIER C., **2006**, *Caractérisation et dynamique des turbidités en zone côtière: l'exemple de la région marine Bretagne sud*, -428 pages-

## V

VAN LANCKER V., LANCKNEUS J., HEARN S., HOEKSTRA P., LEVOY F., MILES J., MOERKERKE G., MONFORT O. and WHITEHOUSE R., **2004**, *Coastal and nearshore morphology, bedforms and sediment transport pathways at Teignmouth (UK)*, Continental Shelf Research, 24 - 1171-1202 -

VAN WAERBEKE D., **1999**, *L'incidence des sentiers côtiers sur la dynamique des falaises en roche meuble du Petit Trégor (Bretagne Nord)*, Les documents de la Maison de la Recherche en Sciences Humaines de Caen: Littoraux, entre environnement et aménagement, 10 - 153-162 -

VANNEY J. R., **1977**, *Géomorphologie de la marge continentale sud-armoricaine* - S.E.D.E.S. Paris, 473 pages -

VEYRET Y., **1999**, *Géo-environnement*, Sedes - Campus, Paris -160 pages -

VEYRET Y. and DE RICHEMOND N. M., **2003** *Le Risque, Les Risques*, 17-47, (eds):Y. Veyret, Les Risques, Paris, 255 pages

VOGEL C., MOSER S. C., KASPERSON R. E. and DABELKO G., **2007**, *Linking vulnerability, adaptation, and resilience science to practice: Pathways, players, and partnerships*, Global environmental change, 17 - 349-364 –

## W

WANG P., DAVIS R. A. and KRAUS N. C., **1998**, *Cross-shore distribution of sediment texture under breaking waves along low-wave-energy coasts*, Journal of Sedimentary Research, 68 - 497-506 -

WHITE G. F., **1973** *Natural hazards research*, 193-216, (eds):R. J. Chorley, Directions in Geography, London

WIJNBERG K. M. and KROON A., **2002**, *Barred beaches*, Geomorphology, 48 - 103-120 -

WRIGHT L. D. and SHORT A. D., **1984**, *Morphodynamic variability of beaches and surf zones, a synthesis*, Marine Geology, 56 - 92-118 -

WRIGHT L. D. and THOM B. G., **1977**, *Coastal depositional landforms: a morphodynamic approach*, Progress in Physical Geography, 1 - 412 - 59 –

## X

XUE Z., FENG A., YIN P. and XIA D., **2008**, *Coastal Erosion Induced by Human Activities: A Northwest Bohai Sea Case Study*, Journal of Coastal Research, 24

## Y

YONI C., LATTEUX B. and DAVID L., **2001**, *Etude du comportement du littoral départemental (56)*, volume 2: synthèse bibliographique, Rapport scientifique Ptolémée, - 51 pages –

## Z

ZEILER M., SCHULZ-OHLBERG J. and FIGGE K., **2000**, *Mobile sand deposits and shoreface sediment dynamics in the inner German Bight (North Sea)*, Marine Geology, 170 - 363-380 -

INSEE: <http://www.insee.fr>

Bretagne Environnement : <http://www.bretagne-environnement.org>

ANNEXE A
----------

## Modélisation prédictive des vagues – PREVIMER

Les textes présentant les modèles de prédiction des houles proposées par le projet PREVIMER sont issus des sources suivantes : [http://www.previmer.org/comment\\_ca\\_marche/modeles\\_de\\_vagues](http://www.previmer.org/comment_ca_marche/modeles_de_vagues) et LECORNU, F., et DE ROECK, Y.H., PREVIMER - Observations et Prévisions Côtières, LA HUILLE BLANCHE/N° 1-2009. Les informations concernant le modèle REF-DIF sont issues du document suivant : <http://chinacat.coastal.udel.edu/~kirby/programs/nearcom/documents/refdif1v30.pdf>.

Le site [www.previmer.org](http://www.previmer.org) propose les prévisions des caractéristiques des vagues calculées par le SHOM. Ces prévisions sont remises à jour quotidiennement, vers 05h et 17h TU. Elles sont réalisées à partir des prévisions de vent et des observations de la position de la banquise, faites soit au Centre Européen de Prévision Météorologique à Moyen Terme et fournies par Météo-France, soit au service météorologique des Etats-Unis (NOAA/NCEP), en cas de problème de transmission. Dans le cadre de ces travaux de thèse, les fichiers netcdf correspondant aux résultats des prédictions numériques pour chaque point du maillage du modèle ont pu être acquis.

Les calculs à grande échelle sont réalisés avec le code WAVEWATCH III, développé dans le cadre d'une collaboration entre le service météorologique des Etats-Unis (NOAA/NCEP) et le SHOM, ainsi que d'autres partenaires. Ce code calcule l'évolution de l'état de la mer en le décomposant en un spectre d'onde se propageant dans différentes directions et avec différentes périodes  $T$ . En eau profonde la vitesse de déplacement de l'énergie des vagues est  $U+C_g$  où  $U$  est la vitesse du courant proche de la surface, et  $C_g$  est la vitesse de groupe intrinsèque  $C_g=gT/(4\pi)$  avec  $g$  est l'accélération due à la gravité. Cette somme est vectorielle: un courant opposé à la direction de propagation ralentit la propagation. Cette propagation est calculée sur une grille régulière ou irrégulière. La transformation des vagues en zones côtières est calculée à haute résolution avec deux codes de propagation : REF-DIF (version de Eloi Melo, Université de Florianopolis, Brésil), et CRESTp (code de trace de rayons développé au SHOM). Initialement, REF-DIF a été développé par James T. Kirby, Robert A. Dalrymple and Fengyan Shi (1982) afin de modéliser la propagation et la transformation de la houle à l'approche de la côte. Le code de calcul prend en compte l'effet combiné des processus de réfraction et de diffraction de la surface spectrale des vagues.

## ANNEXE B

## Corrélogrammes des hauteurs significatives spectrales et des périodes moyennes issus de la base de données CANDHIS (Cetmef)

Les intervalles sont à lire : "Borne inférieure incluse - borne supérieure exclue" (ex : 0.5 => [0 ; 0.5[ )

### Bouée Ile d'Yeu Nord

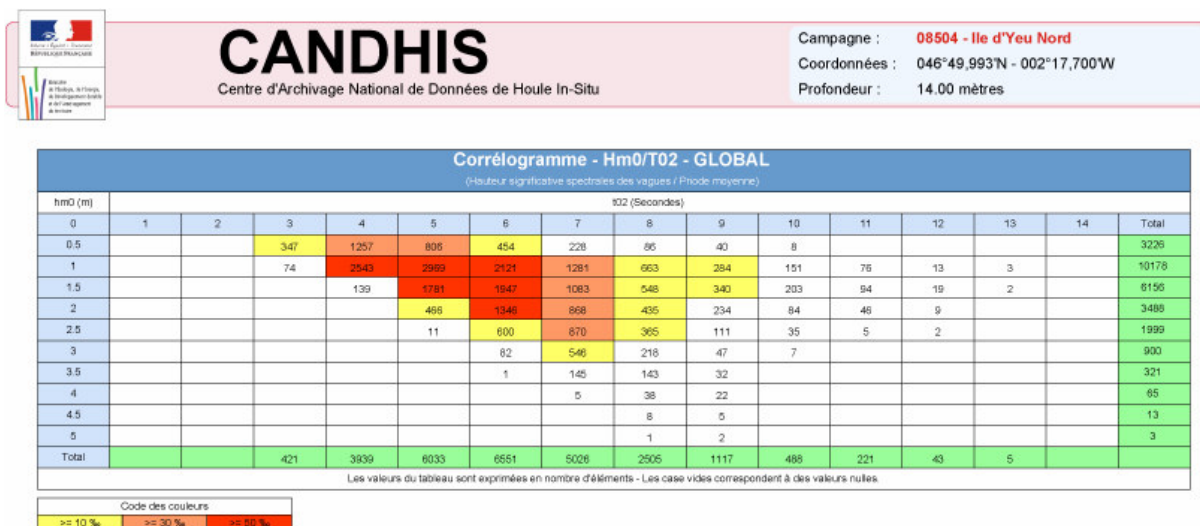
Code campagne: 08504 – Nom de campagne: Ile d'Yeu Nord –

Latitude : 046°49,993'N – Longitude: 002°17,700'W – Profondeur: 14.00 m

Marnage VEM : 4.30 m – Distance à la côte : 6.10 milles

Date de début des enregistrements : 21/06/2005 15:00 - Date de fin des enregistrements : 02/04/2010 14:00

Nombre de mesures : 33521



Bouée Plateau du Four

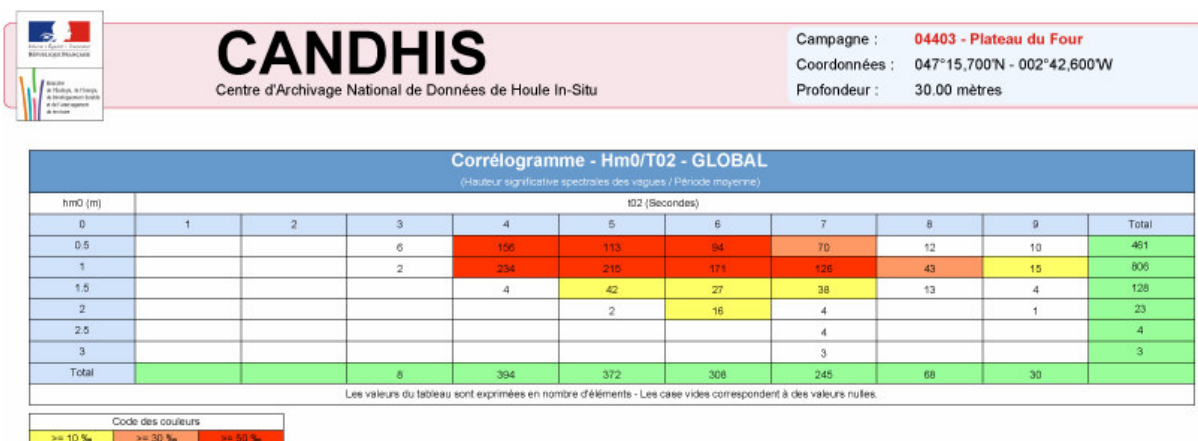
Code campagne: 04403 – Nom de campagne: Plateau du Four

Latitude : 047°14,340'N – Longitude: 002°47,220'W – Profondeur: 30.00 m

Marnage VEM : 4.70 m – Distance à la côte : 6.90 milles

Date de début des enregistrements : 01/04/2008 00:00 - Date de fin des enregistrements : 12/05/2010 07:30

Nombre de mesures : 11739

Bouée Le Croisic

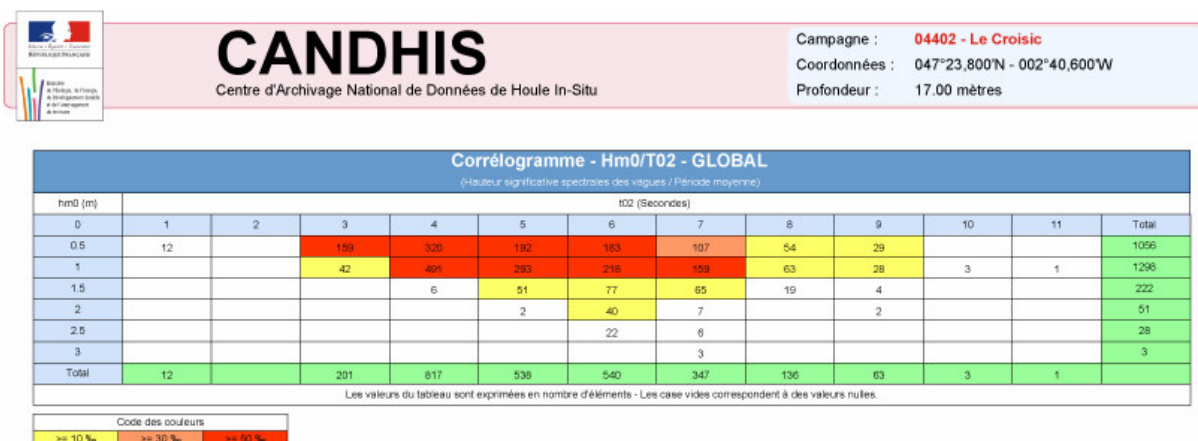
Code campagne: 04402 – Nom de campagne: Le Croisic

Latitude : 047°23,800'N – Longitude: 002°40,600'W – Profondeur: 17.00 m

Marnage VEM : 4.70 m – Distance à la côte : 4.90 milles

Date de début des enregistrements : 03/04/2003 09:00 - Date de fin des enregistrements : 06/08/2008 23:30

Nombre de mesures : 7650





ANNEXE C
----------

## L'Erreur Root Mean Square (RMS)

L'erreur RMS, *Root Mean Square*, est utilisée pour mesurer la précision liée au processus de géoréférencement et de géorectification. Elle indique la précision avec laquelle les points de contrôle utilisés ont été reportés sur le document géoréférencé, en mesurant l'écart existant entre leurs positions sur le document de référence et celles sur le document géoréférencé.

Mathématiquement, il s'agit d'une mesure de dispersion des points autour d'un centre, et correspond à l'équivalent spatial de l'écart type.

$$\text{RMS} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (xi)^2}{n - 1}}$$

D'une manière générale, plus l'erreur RMS est petite, plus le document est correctement géorectifié. Cependant, cet indicateur est calculé à partir de valeurs moyennes, ce qui implique que la distance réelle entre chaque point du document géoréférencé et ses coordonnées réelles est inférieure ou supérieure à la distance mesurée à travers l'erreur RMS. Plus la répartition des points de contrôle est homogène, plus l'erreur RMS est représentative de la distance existant entre la position des objets spatiaux géoréférencés et leurs coordonnées réelles est proche. Toutefois, sur les clichés aériens couvrant la frange littorale, la localisation des points de contrôle disponibles n'est pas homogène en raison de l'étendue des surfaces maritimes dépourvues de points d'amer. Certains points de contrôle peuvent se trouver alors excentrés et contribuent à élever la valeur de l'erreur RMS tout en participant à la réduction des déformations géométriques affectant le cliché géoréférencé.

## ANNEXE D

### Présentation du modèle Mars S-4

Le travail de modélisation hydro-sédimentaire a été effectué par Astérie (2008). La présentation du modèle Mars S-4 proposée ici est issue du rapport d'étude réalisé par Astérie en Juin 2008.

La modélisation des mouvements hydrodynamiques, en zone côtière, est basée sur la résolution numérique des équations mathématiques de la mécanique des fluides (équations de Navier-Stokes), appliquées au niveau marin. La résolution numérique de ces équations est obtenue à l'aide d'un code de calcul qui correspond au modèle mathématique. La procédure de résolution se déroule en deux étapes : tout d'abord une aire d'étude est définie et décrite par un maillage des profondeurs. Puis, en intégrant à la procédure de résolution des données relatives à ces niveaux d'eau et de données décrivant les forçages météorologiques et les données de flux opérant sur la zone d'étude, il est possible de caractériser les courants et les déplacements des substances présentes dans l'eau. Les conditions hydrodynamiques aux limites de la zone d'étude sont obtenues à partir d'un travail de modélisation réalisé sur une emprise plus grande. Ces dernières sont modélisées successivement sur des aires d'étude plus vaste dont l'emprise spatiale se rapproche à chaque fois de celles du modèle recherché, jusqu'à obtenir les conditions ambiantes nécessaire pour faire fonctionner ce modèle. Cette méthode est connue sous le nom de modèle Cigogne.

Le code de calcul utilisé par Astérie (2008) fait partie de la chaîne logicielle MARS en version S-4 (dernier dépôt en 2002). MARS reproduit les effets combinés de la marée, des vents, des écarts de densité et des débits de fluides. Tous les facteurs généraux (Coriolis, frottement de fond, viscosité, ...) sont inclus de manière native dans le code de calcul. Le modèle résout les équations de manière bidimensionnelle et tridimensionnelle. La modélisation bidimensionnelle décrit toutes les grandeurs calculées par leur moyenne sur la hauteur d'eau. Elle est appliquée pour les phénomènes qui sont identiques près du fond et de la surface. La modélisation tridimensionnelle permet de prendre en compte les phénomènes hydrauliques caractérisés par des gradients verticaux.

L'emprise du modèle appliqué en Bretagne Sud est définie par les coordonnées suivantes :

Nord : 47°49'13" – Sud : 47°19'22" – Est : 3°7'17" – Ouest : 3°29'31"

Le modèle est construit à partir d'une maille de 100m, correspondant à la norme haute définition. Ce maillage représente environ 154 287 nœuds de calcul en modélisation bidimensionnelle et 1 542 870 en modélisation tridimensionnelle. Les profondeurs ont été obtenues à partir des sondes reportées sur les cartes marines du SHOM (n°7032 – n°7139 – n°7140).

A partir des données obtenues par le modèle hydrodynamique, le modèle sédimentologique permet de décrire le comportement des sédiments. Le modèle sédimentologique opère sur le même maillage, à savoir 100m. Il repose sur la formulation de Inglis et Lacey qui représentent le transport sédimentaire comme une fonction de transport reliant vitesse des courants, hauteur d'eau, agitation et des diamètres des particules. Le sédiment pris en compte par le modèle est un sable de 300 µ de diamètre environ. Cette granulométrie correspond aux particules dotées de la plus grande mobilité.

Formulation de Inglis et Lacey :

$$Q_s = 0.562 \left( \frac{vg}{W} \right)^{1/3} \frac{V^2}{gH} \frac{\rho V^3}{g}$$

$Q_s$  est le flux de sédiment en Kg par mètre de largeur d'écoulement,

$v$  = viscosité cinématique ( $m^2.s^{-1}$ )

$W$  = vitesse de chute ( $m.s^{-1}$ )

$\rho$  = Masse volumétrique du sédiment ( $Kg.m^{-3}$ )

$V$  = Vitesse du courant ( $m.s^{-1}$ )

## ANNEXE E

Tableaux de contingence et tests du khi<sup>2</sup> pour les variables «mouvements du trait de côte » et « localisation du trait de côte dans la cellule sédimentaire »

## 1) Résultats obtenus pour le massif dunaire Gâvres – Penthievre

a) 1952 - 2004	site source	site transit	site puits
Nb de polygone en érosion	59	25	9
Nb de polygone en accretion	34	55	24
Nb total de polygone	93	80	33
% de sites en érosion	63.44%	31.25%	27.27%
% de sites en accretion	36.56%	68.75%	72.73%

Il existe une relation de dépendance statistique entre les variables "localisation dans la cellule sédimentaire" et "mouvement du trait de côte".

Khi<sup>2</sup> observé= 23.06, Khi<sup>2</sup> critique= 5.99, ddl= 2, p < 0.0001, α = 0.05

a) 1952 - 1984	site source	site transit	site puits
Nb de polygone en érosion	17	43	7
Nb de polygone en accretion	14	51	14
Nb total de polygone	31	94	11
% de sites en érosion	54.44%	45.74%	63.64%
% de sites en accretion	45.16%	54.26%	36.36%

Il n'existe pas de relation de dépendance statistique entre les variables "localisation dans la cellule sédimentaire" et "mouvement du trait de côte".

Khi<sup>2</sup> observé= 1.77, Khi<sup>2</sup> critique= 5.99, ddl= 2, p < 0.415, α = 0.05

a) 1984 - 1999	site source	site transit	site puits
Nb de polygone en érosion	23	5	1
Nb de polygone en accretion	25	33	14
Nb total de polygone	48	38	15
% de sites en érosion	47.92%	13.16%	6.67%
% de sites en accretion	52.08%	86.84%	93.33%

Il existe une relation de dépendance statistique entre les variables "localisation dans la cellule sédimentaire" et "mouvement du trait de côte".

Khi<sup>2</sup> observé= 16.70, Khi<sup>2</sup> critique= 5.99, ddl= 2, p < 0.0001, α = 0.05

a) 1999 - 2000	site source	site transit	site puits
Nb de polygone en érosion	87	79	23
Nb de polygone en accretion	46	83	38
Nb total de polygone	133	162	61
% de sites en érosion	65.41%	48.77%	37.70%
% de sites en accretion	34.59%	51.23%	62.30%

Il existe une relation de dépendance statistique entre les variables "localisation dans la cellule sédimentaire" et "mouvement du trait de côte".

Khi<sup>2</sup> observé= 15.12, Khi<sup>2</sup> critique= 5.99, ddl= 2, p < 0.0001, α = 0.05

a) 2000 - 2004	site source	site transit	site puits
Nb de polygone en érosion	197	252	40
Nb de polygone en accretion	80	205	44
Nb total de polygone	277	457	84
% de sites en érosion	71.12%	55.14%	47.52%
% de sites en accretion	28.88%	44.86%	52.38%

Il existe une relation de dépendance statistique entre les variables "localisation dans la cellule sédimentaire" et "mouvement du trait de côte".

Khi<sup>2</sup> observé= 24.06, Khi<sup>2</sup> critique= 5.99, ddl= 2, p < 0.0001, α = 0.05

Excepté sur le pas de temps 1985 – 1999, il existe une relation de dépendance statistique entre les variables « mouvements du trait de côte » et « localisation du trait côte dans la cellule sédimentaire ». Ces résultats permettent d'affirmer qu'il existe un lien statistique entre l'occurrence des processus d'érosion et d'accrétion et la localisation des sites étudiés par rapport aux courants de dérive littorale. La délimitation des cellules sédimentaires présentée au sein du chapitre 3 (partie II) apparaît ainsi en cohérence avec les données relatives aux variations du trait de côte discutées dans le chapitre 3 (partie II).

## 2) Résultats obtenus pour la baie de Quiberon

a) 1952 - 2004	site source	site transit	site puits
Nb de polygone en érosion	147	39	43
Nb de polygone en accretion	30	103	6
Nb total de polygone	177	142	126
% de sites en érosion	83.05%	27.46%	34.13%
% de sites en accrétion	16.85%	72.54%	65.87%

$\text{Kh}^2$  observé= 118.60,  $\text{Kh}^2$  critique= 5.99, ddl= 2,  $p < 0.0001$ ,  $\alpha = 0.05$

Il existe une relation de dépendance statistique entre les variables "localisation dans la cellule sédimentaire" et "mouvement du trait de côte".

a) 1952 - 1985	site source	site transit	site puits
Nb de polygone en érosion	53	42	22
Nb de polygone en accretion	15	47	35
Nb total de polygone	68	99	57
% de sites en érosion	77.94%	52.53%	36.60%
% de sites en accrétion	22.06%	47.47%	61.40%

$\text{Kh}^2$  observé= 20.80,  $\text{Kh}^2$  critique= 5.99, ddl= 2,  $p < 0.415$ ,  $\alpha = 0.05$

Il existe une relation de dépendance statistique entre les variables "localisation dans la cellule sédimentaire" et "mouvement du trait de côte".

a) 1985 - 2004	site source	site transit	site puits
Nb de polygone en érosion	143	18	33
Nb de polygone en accretion	31	82	61
Nb total de polygone	174	100	94
% de sites en érosion	82.18%	18.80%	35.11%
% de sites en accrétion	17.82%	82.00%	64.89 %

$\text{Kh}^2$  observé= 16.70,  $\text{Kh}^2$  critique= 5.99, ddl= 2,  $p < 0.0001$ ,  $\alpha = 0.05$

Il existe une relation de dépendance statistique entre les variables "localisation dans la cellule sédimentaire" et "mouvement du trait de côte".

Sur chaque pas de temps étudié, il existe une relation de dépendance statistique entre les variables « mouvements du trait de côte » et « localisation du trait côte dans la cellule sédimentaire ». Ces résultats permettent d'affirmer qu'il existe un lien statistique entre l'occurrence des processus d'érosion et d'accrétion et la localisation des sites étudiés par rapport aux courants de dérive littorale. La délimitation des cellules sédimentaires présentée au sein du chapitre 3 (partie II) apparaît ainsi en cohérence avec les données relatives aux variations du trait de côte discutées dans le chapitre 3 (partie II).

## 3) Résultats obtenus pour la Presqu'île de Rhuys

a) 1952 - 2004

	site source	site transit	site puits
Nb de polygone en érosion	13	39	9
Nb de polygone en accretion	5	33	6
Nb total de polygone	18	72	15
% de sites en érosion	72.22%	54.17%	60.00%
% de sites en accrétion	27.78%	45.83%	40.00%

Khi<sup>2</sup> observé= 1.95, Khi<sup>2</sup> critique= 5.99, ddl= 2, p < 0.0001, α = 0.05

Il n'existe pas de relation de dépendance statistique entre les variables "localisation dans la cellule sédimentaire" et "mouvement du trait de côte".

a) 1952 - 1985

	site source	site transit	site puits
Nb de polygone en érosion	10	27	5
Nb de polygone en accretion	3	5	0
Nb total de polygone	13	32	5
% de sites en érosion	76.92%	84.38%	100.00%
% de sites en accrétion	23.08%	15.63%	0/00%

Khi<sup>2</sup> observé= 1.44, Khi<sup>2</sup> critique= 5.99, ddl= 2, p < 0.415, α = 0.05

Il n'existe pas de relation de dépendance statistique entre les variables "localisation dans la cellule sédimentaire" et "mouvement du trait de côte".

a) 1985 - 1999

	site source	site transit	site puits
Nb de polygone en érosion	9	17	3
Nb de polygone en accretion	8	39	7
Nb total de polygone	17	56	10
% de sites en érosion	52.94%	30.36%	30.00%
% de sites en accrétion	47.06%	69.64%	70.00 %

Khi<sup>2</sup> observé= 3.04, Khi<sup>2</sup> critique= 5.99, ddl= 2, p < 0.0001, α = 0.05

Il n'existe pas de relation de dépendance statistique entre les variables "localisation dans la cellule sédimentaire" et "mouvement du trait de côte".

a) 1999 - 2004

	site source	site transit	site puits
Nb de polygone en érosion	29	123	13
Nb de polygone en accretion	5	27	4
Nb total de polygone	34	150	17
% de sites en érosion	85.29%	18.80%	76.47%
% de sites en accrétion	14.71%	82.00%	23.43%

Khi<sup>2</sup> observé= 0.60, Khi<sup>2</sup> critique= 5.99, ddl= 2, p < 0.0001, α = 0.05

Il n'existe pas de relation de dépendance statistique entre les variables "localisation dans la cellule sédimentaire" et "mouvement du trait de côte".

Sur chacun des pas de temps étudiés, le test du Khi<sup>2</sup> ne permet pas d'établir une relation de dépendance statistique entre les variables « mouvements du trait de côte » et « localisation du trait de côte dans la cellule sédimentaire ». La localisation des sites enregistrant un recul ou une avancée du trait de côte n'est pas statiquement dépendant de leur localisation par rapport aux courants de dérives littorales. Plusieurs facteurs peuvent expliquer ces résultats. L'existence d'interactions entre les courants *alongshore* d'une part, et des *courants crosshore* et courants tidaux d'autre part, insuffisamment pris en compte dans la délimitation des cellules sédimentaires, pourrait contribuer à rendre difficile l'explication de la localisation des processus érosifs par le seul biais d'un transport longitudinal des sédiments. En outre, la complexité de la morphologie de la côte et l'avant côte ainsi que l'importance de la zone de fetch pourraient accroître la variabilité des limites des cellules sédimentaires, et rendre par ainsi difficile leur identification sur les long et moyen termes. Sur ces plages, la multiplicité des facteurs, et leurs interactions, contrôlant l'évolution du trait de côte, ne permet pas d'expliquer les variations du trait de côte à l'aide d'une seule variable.

## ANNEXE F

## Résultats détaillés des analyses en composante multiple (ACM)

## Le massif dunaire Gâvres – Penthievre – 1952 – 2004

Coordonnées standard (Variables) :

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
route-0	-0.140	-0.764	0.421	1.025	0.053	-0.371	-0.141
route-4	0.231	1.257	-0.694	-1.687	-0.087	0.611	0.232
chemin-0	0.158	-1.335	-0.685	-0.449	-0.382	0.418	-0.581
chemin-5	-0.163	1.372	0.705	0.461	0.393	-0.430	0.597
mouvement-1	-1.038	-0.436	0.153	0.298	-0.447	0.823	-0.087
mouvement-2	1.237	0.520	-0.182	-0.355	0.533	-0.981	0.104
morphology-1	4.188	3.529	2.640	1.564	-1.804	0.579	-0.571
morphology-2	-0.245	-0.207	-0.155	-0.092	0.106	-0.034	0.033
sed cell-1	1.468	-0.335	-0.690	0.487	-0.160	-0.061	0.054
sed cell-2	-1.515	0.937	-0.449	0.490	-0.044	-0.302	-0.319
sed cell-3	-0.474	-1.309	3.009	-2.540	0.555	0.896	0.614
classe-1	1.234	-1.077	1.327	-0.301	-0.484	0.786	-3.742
classe-2	0.286	0.373	-0.709	-0.835	-2.938	-0.957	1.396
classe-3	0.958	0.423	-0.911	0.428	1.830	1.535	0.662
classe-4	-0.212	-0.978	0.904	-0.610	0.840	-1.195	3.024
classe-5	-1.571	0.736	-0.913	-1.367	0.348	-0.044	-2.632
classe-6	-2.523	1.488	0.533	5.038	-0.540	-0.604	-0.607
orientatio-2	-2.010	3.053	-2.447	-4.207	-6.284	-6.420	-1.961
orientatio-4	4.431	5.490	0.850	0.878	-0.378	4.420	-1.078
orientatio-5	2.290	-2.300	-1.657	1.299	1.590	-4.376	-1.061
orientatio-6	-0.522	0.084	-0.682	-0.131	0.704	0.717	0.205
orientatio-7	0.050	0.060	3.541	-0.178	-0.749	-0.860	-0.427
orientatio-8	1.700	-3.083	-1.427	2.944	-8.104	4.485	3.945

Contributions (Variables) :

	Poids	Poids (relatif)	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
route-0	135	0.089	0.002	0.052	0.016	0.093	0.000	0.012	0.002
route-4	82	0.054	0.003	0.085	0.026	0.154	0.000	0.020	0.003
chemin-0	110	0.072	0.002	0.129	0.034	0.015	0.011	0.013	0.024
chemin-5	107	0.070	0.002	0.133	0.035	0.015	0.011	0.013	0.025
mouvement-1	118	0.078	0.084	0.015	0.002	0.007	0.016	0.053	0.001
mouvement-2	99	0.065	0.100	0.018	0.002	0.008	0.019	0.063	0.001
morphology-1	12	0.008	0.139	0.098	0.055	0.019	0.026	0.003	0.003
morphology-2	205	0.135	0.008	0.006	0.003	0.001	0.002	0.000	0.000
sed cell-1	98	0.065	0.139	0.007	0.031	0.015	0.002	0.000	0.000
sed cell-2	84	0.055	0.127	0.049	0.011	0.013	0.000	0.005	0.006
sed cell-3	35	0.023	0.005	0.039	0.209	0.149	0.007	0.018	0.009
classe-1	36	0.024	0.036	0.027	0.042	0.002	0.006	0.015	0.332
classe-2	38	0.025	0.002	0.003	0.013	0.017	0.216	0.023	0.049
classe-3	49	0.032	0.030	0.006	0.027	0.006	0.108	0.076	0.014
classe-4	46	0.030	0.001	0.029	0.025	0.011	0.021	0.043	0.277
classe-5	30	0.020	0.049	0.011	0.016	0.037	0.002	0.000	0.137
classe-6	18	0.012	0.075	0.026	0.003	0.301	0.003	0.004	0.004
orientatio-2	6	0.004	0.016	0.037	0.024	0.070	0.156	0.163	0.015
orientatio-4	6	0.004	0.078	0.119	0.003	0.003	0.001	0.077	0.005
orientatio-5	19	0.013	0.066	0.066	0.034	0.021	0.032	0.240	0.014
orientatio-6	138	0.091	0.025	0.001	0.042	0.002	0.045	0.047	0.004
orientatio-7	41	0.027	0.000	0.000	0.338	0.001	0.015	0.020	0.005
orientatio-8	7	0.005	0.013	0.044	0.009	0.040	0.303	0.093	0.072

## Cosinus carrés (Variables) :

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
route-0	0.010	0.235	0.066	0.297	0.001	0.035	0.005
route-4	0.010	0.235	0.066	0.297	0.001	0.035	0.005
chemin-0	0.008	0.447	0.109	0.036	0.024	0.028	0.052
chemin-5	0.008	0.447	0.109	0.036	0.024	0.028	0.052
mouvement-1	0.400	0.055	0.006	0.018	0.038	0.126	0.001
mouvement-2	0.400	0.055	0.006	0.018	0.038	0.126	0.001
morphology-1	0.320	0.178	0.092	0.025	0.031	0.003	0.003
morphology-2	0.320	0.178	0.092	0.025	0.031	0.003	0.003
sed cell-1	0.554	0.023	0.088	0.034	0.003	0.000	0.000
sed cell-2	0.452	0.135	0.029	0.026	0.000	0.009	0.010
sed cell-3	0.013	0.080	0.393	0.213	0.010	0.024	0.011
classe-1	0.094	0.056	0.079	0.003	0.007	0.019	0.420
classe-2	0.005	0.007	0.024	0.025	0.294	0.030	0.062
classe-3	0.084	0.013	0.055	0.009	0.157	0.107	0.019
classe-4	0.004	0.063	0.050	0.017	0.030	0.060	0.371
classe-5	0.123	0.021	0.030	0.052	0.003	0.000	0.168
classe-6	0.180	0.049	0.006	0.395	0.004	0.005	0.005
orientatio-2	0.036	0.065	0.038	0.086	0.180	0.183	0.016
orientatio-4	0.174	0.209	0.005	0.004	0.001	0.087	0.005
orientatio-5	0.157	0.124	0.059	0.028	0.039	0.287	0.016
orientatio-6	0.148	0.003	0.183	0.005	0.139	0.141	0.011
orientatio-7	0.000	0.000	0.659	0.001	0.021	0.027	0.006
orientatio-8	0.030	0.077	0.015	0.050	0.351	0.105	0.078

## Valeurs test (Variables) :

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
route-0	-1.475	<b>-7.117</b>	<b>3.775</b>	<b>8.010</b>	0.399	<b>-2.766</b>	-1.032
route-4	1.475	<b>7.117</b>	<b>-3.775</b>	<b>-8.010</b>	-0.399	<b>2.766</b>	1.032
chemin-0	1.316	<b>-9.830</b>	<b>-4.851</b>	<b>-2.773</b>	<b>-2.280</b>	<b>2.466</b>	<b>-3.360</b>
chemin-5	-1.316	<b>9.830</b>	<b>4.851</b>	<b>2.773</b>	<b>2.280</b>	<b>-2.466</b>	<b>3.360</b>
mouvement-1	<b>-9.300</b>	<b>-3.458</b>	1.162	<b>1.981</b>	<b>-2.873</b>	<b>5.223</b>	-0.543
mouvement-2	<b>9.300</b>	<b>3.458</b>	-1.162	<b>-1.981</b>	<b>2.873</b>	<b>-5.223</b>	0.543
morphology-1	<b>8.317</b>	<b>6.201</b>	<b>4.458</b>	<b>2.306</b>	<b>-2.568</b>	0.814	-0.789
morphology-2	<b>-8.317</b>	<b>-6.201</b>	<b>-4.458</b>	<b>-2.306</b>	<b>2.568</b>	-0.814	0.789
sed cell-1	<b>10.934</b>	<b>-2.210</b>	<b>-4.371</b>	<b>2.694</b>	-0.856	-0.323	0.280
sed cell-2	<b>-9.883</b>	<b>5.405</b>	<b>-2.490</b>	<b>2.372</b>	-0.208	-1.393	-1.445
sed cell-3	-1.707	<b>-4.168</b>	<b>9.212</b>	<b>-6.787</b>	1.433	<b>2.282</b>	1.535
classe-1	<b>4.517</b>	<b>-3.488</b>	<b>4.132</b>	-0.817	-1.270	<b>2.037</b>	<b>-9.523</b>
classe-2	1.082	1.248	<b>-2.279</b>	<b>-2.343</b>	<b>-7.964</b>	<b>-2.563</b>	<b>3.669</b>
classe-3	<b>4.247</b>	1.659	<b>-3.434</b>	1.407	<b>5.816</b>	<b>4.817</b>	<b>2.041</b>
classe-4	-0.901	<b>-3.685</b>	<b>3.271</b>	-1.928	<b>2.564</b>	<b>-3.601</b>	<b>8.950</b>
classe-5	<b>-5.163</b>	<b>2.140</b>	<b>-2.552</b>	<b>-3.337</b>	0.820	-0.101	<b>-6.016</b>
classe-6	<b>-6.227</b>	<b>3.251</b>	1.119	<b>9.232</b>	-0.955	-1.055	-1.041
orientatio-2	<b>-2.782</b>	<b>3.739</b>	<b>-2.881</b>	<b>-4.322</b>	<b>-6.236</b>	<b>-6.292</b>	-1.887
orientatio-4	<b>6.132</b>	<b>6.724</b>	1.000	0.902	-0.375	<b>4.331</b>	-1.037
orientatio-5	<b>5.823</b>	<b>-5.175</b>	<b>-3.583</b>	<b>2.452</b>	<b>2.897</b>	<b>-7.877</b>	-1.876
orientatio-6	<b>-5.658</b>	0.806	<b>-6.291</b>	-1.051	<b>5.479</b>	<b>5.510</b>	1.546
orientatio-7	0.197	0.209	<b>11.929</b>	-0.523	<b>-2.127</b>	<b>-2.411</b>	-1.176
orientatio-8	<b>2.547</b>	<b>-4.089</b>	-1.819	<b>3.275</b>	<b>-8.706</b>	<b>4.758</b>	<b>4.109</b>

Les valeurs affichées en gras sont significatives au seuil  $\alpha=0.05$



## Le massif dunaire Gâvres – Penthièvre – 1952 – 1984

Coordonnées standard (Variables) :

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
route-0	-0.229	0.210	0.221	0.462	-0.375	-0.215	-0.216
route-4	1.177	-1.078	-1.132	-2.368	1.924	1.101	1.108
chemin-0	0.925	0.092	-1.194	0.849	-0.453	0.509	-0.140
chemin-5	-0.939	-0.093	1.211	-0.861	0.460	-0.516	0.142
mouvement-1	-0.318	-0.436	-0.308	0.169	-1.005	1.031	0.585
mouvement-2	0.351	0.482	0.340	-0.187	1.110	-1.139	-0.646
morpho-1	5.528	3.817	1.918	-3.273	1.715	-2.303	1.309
morpho-2	-0.246	-0.170	-0.085	0.145	-0.076	0.102	-0.058
cell sed-1	1.588	2.106	0.585	1.175	-0.964	0.030	-0.025
cell sed-2	-0.483	-0.806	0.166	-0.534	-0.119	0.010	0.439
cell sed-3	-0.509	0.790	-3.216	1.180	3.946	-0.176	-3.800
classe-1	1.026	0.847	-1.626	-2.562	-1.673	0.443	-0.512
classe-2	0.020	0.187	-1.728	2.188	0.959	1.127	0.316
classe-3	0.052	0.080	2.188	0.140	0.746	1.837	0.830
classe-4	-0.354	-1.686	0.159	-0.255	-0.665	-3.204	1.863
classe-5	-1.452	0.832	1.269	-0.063	0.308	-2.144	-5.161
orientation-2	3.243	-5.998	0.424	1.886	-0.744	-1.017	-2.283
orientation-4	6.364	2.625	-2.302	-9.584	-6.318	1.835	-5.006
orientation-5	2.572	3.797	-0.336	5.164	-4.671	-6.935	4.062
orientation-6	-0.727	0.250	0.589	-0.052	-0.580	0.725	-0.494
orientation-7	-0.246	0.052	-2.191	-0.680	1.999	-1.276	1.469
orientation-8	5.152	2.386	5.501	2.158	5.918	2.709	2.442
situation-1	4.184	-4.144	1.318	0.628	0.163	-0.185	-1.759
situation-2	-0.389	0.386	-0.123	-0.058	-0.015	0.017	0.164

Contributions (Variables) :

	Poids	Poids (relatif)	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
route-0	118	0.105	0.006	0.005	0.005	0.022	0.015	0.005	0.005
route-4	23	0.020	0.028	0.024	0.026	0.114	0.075	0.025	0.025
chemin-0	71	0.063	0.054	0.001	0.090	0.045	0.013	0.016	0.001
chemin-5	70	0.062	0.055	0.001	0.091	0.046	0.013	0.017	0.001
mouvement-1	74	0.066	0.007	0.012	0.006	0.002	0.066	0.070	0.022
mouvement-2	67	0.059	0.007	0.014	0.007	0.002	0.073	0.077	0.025
morpho-1	6	0.005	0.163	0.077	0.020	0.057	0.016	0.028	0.009
morpho-2	135	0.120	0.007	0.003	0.001	0.003	0.001	0.001	0.000
cell sed-1	33	0.029	0.074	0.130	0.010	0.040	0.027	0.000	0.000
cell sed-2	97	0.086	0.020	0.056	0.002	0.024	0.001	0.000	0.017
cell sed-3	11	0.010	0.003	0.006	0.101	0.014	0.152	0.000	0.141
classe-1	28	0.025	0.026	0.018	0.066	0.163	0.070	0.005	0.007
classe-2	34	0.030	0.000	0.001	0.090	0.144	0.028	0.038	0.003
classe-3	37	0.033	0.000	0.000	0.157	0.001	0.018	0.111	0.023
classe-4	27	0.024	0.003	0.068	0.001	0.002	0.011	0.246	0.083
classe-5	15	0.013	0.028	0.009	0.021	0.000	0.001	0.061	0.354
orientation-2	9	0.008	0.084	0.287	0.001	0.028	0.004	0.008	0.042
orientation-4	2	0.002	0.072	0.012	0.009	0.163	0.071	0.006	0.044
orientation-5	4	0.004	0.023	0.051	0.000	0.095	0.077	0.171	0.058
orientation-6	89	0.079	0.042	0.005	0.027	0.000	0.027	0.041	0.019
orientation-7	33	0.029	0.002	0.000	0.140	0.014	0.117	0.048	0.063
orientation-8	4	0.004	0.094	0.020	0.107	0.017	0.124	0.026	0.021
situation-1	12	0.011	0.186	0.183	0.018	0.004	0.000	0.000	0.033
situation-2	129	0.114	0.017	0.017	0.002	0.000	0.000	0.000	0.003

## Cosinus carrés (Variables) :

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
route-0	0.079	0.056	0.047	0.176	0.110	0.033	0.033
route-4	0.079	0.056	0.047	0.176	0.110	0.033	0.033
chemin-0	0.255	0.002	0.272	0.118	0.032	0.036	0.003
chemin-5	0.255	0.002	0.272	0.118	0.032	0.036	0.003
mouvement-1	0.033	0.052	0.020	0.005	0.170	0.162	0.051
mouvement-2	0.033	0.052	0.020	0.005	0.170	0.162	0.051
morpho-1	0.398	0.160	0.031	0.077	0.020	0.032	0.010
morpho-2	0.398	0.160	0.031	0.077	0.020	0.032	0.010
cell sed-1	0.226	0.336	0.020	0.068	0.043	0.000	0.000
cell sed-2	0.151	0.355	0.011	0.101	0.005	0.000	0.058
cell sed-3	0.006	0.013	0.165	0.019	0.200	0.000	0.166
classe-1	0.076	0.044	0.123	0.262	0.106	0.007	0.009
classe-2	0.000	0.003	0.178	0.245	0.044	0.056	0.004
classe-3	0.000	0.001	0.320	0.001	0.030	0.165	0.033
classe-4	0.009	0.167	0.001	0.002	0.016	0.335	0.112
classe-5	0.074	0.020	0.036	0.000	0.002	0.075	0.431
orientation-2	0.210	0.608	0.002	0.039	0.006	0.010	0.048
orientation-4	0.171	0.025	0.014	0.213	0.087	0.007	0.049
orientation-5	0.057	0.104	0.001	0.126	0.097	0.193	0.065
orientation-6	0.265	0.027	0.112	0.001	0.088	0.124	0.057
orientation-7	0.005	0.000	0.276	0.023	0.186	0.069	0.090
orientation-8	0.227	0.041	0.166	0.022	0.156	0.029	0.024
situation-1	0.478	0.396	0.030	0.006	0.000	0.000	0.039
situation-2	0.478	0.396	0.030	0.006	0.000	0.000	0.039

## Valeurs test (Variables) :

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
route-0	<b>-3.329</b>	<b>2.802</b>	<b>2.565</b>	<b>4.967</b>	<b>-3.920</b>	<b>-2.133</b>	<b>-2.134</b>
route-4	<b>3.329</b>	<b>-2.802</b>	<b>-2.565</b>	<b>-4.967</b>	<b>3.920</b>	<b>2.133</b>	<b>2.134</b>
chemin-0	<b>5.972</b>	0.544	<b>-6.170</b>	<b>4.061</b>	<b>-2.106</b>	<b>2.251</b>	-0.617
chemin-5	<b>-5.972</b>	-0.544	<b>6.170</b>	<b>-4.061</b>	<b>2.106</b>	<b>-2.251</b>	0.617
mouvement-1	<b>-2.142</b>	<b>-2.701</b>	-1.660	0.844	<b>-4.872</b>	<b>4.759</b>	<b>2.680</b>
mouvement-2	<b>2.142</b>	<b>2.701</b>	1.660	-0.844	<b>4.872</b>	<b>-4.759</b>	<b>-2.680</b>
morpho-1	<b>7.469</b>	<b>4.739</b>	<b>2.075</b>	<b>-3.278</b>	1.669	<b>-2.132</b>	1.203
morpho-2	<b>-7.469</b>	<b>-4.739</b>	<b>-2.075</b>	<b>3.278</b>	-1.669	<b>2.132</b>	<b>-1.203</b>
cell sed-1	<b>5.626</b>	<b>6.858</b>	1.658	<b>3.086</b>	<b>-2.460</b>	0.072	-0.060
cell sed-2	<b>-4.592</b>	<b>-7.051</b>	1.263	<b>-3.764</b>	-0.819	0.065	<b>2.845</b>
cell sed-3	-0.948	1.354	<b>-4.800</b>	1.630	<b>5.297</b>	-0.225	<b>-4.820</b>
classe-1	<b>3.273</b>	<b>2.484</b>	<b>-4.154</b>	<b>-6.060</b>	<b>-3.844</b>	0.968	-1.111
classe-2	0.074	0.622	<b>-4.998</b>	<b>5.860</b>	<b>2.495</b>	<b>2.789</b>	0.776
classe-3	0.198	0.282	<b>6.695</b>	0.397	<b>2.052</b>	<b>4.809</b>	<b>2.160</b>
classe-4	-1.103	<b>-4.834</b>	0.398	-0.589	-1.494	<b>-6.845</b>	<b>3.953</b>
classe-5	<b>-3.211</b>	1.691	<b>2.247</b>	-0.104	0.491	<b>-3.248</b>	<b>-7.765</b>
orientation-2	<b>5.426</b>	<b>-9.225</b>	0.567	<b>2.340</b>	-0.897	-1.166	<b>-2.600</b>
orientation-4	<b>4.892</b>	1.854	-1.417	<b>-5.462</b>	<b>-3.498</b>	0.967	<b>-2.619</b>
orientation-5	<b>2.816</b>	<b>3.821</b>	-0.295	<b>4.193</b>	<b>-3.683</b>	<b>-5.202</b>	<b>3.026</b>
orientation-6	<b>-6.092</b>	1.928	<b>3.956</b>	-0.326	<b>-3.501</b>	<b>4.163</b>	<b>-2.817</b>
orientation-7	-0.873	0.171	<b>-6.215</b>	-1.785	<b>5.099</b>	<b>-3.098</b>	<b>3.542</b>
orientation-8	<b>5.641</b>	<b>2.401</b>	<b>4.823</b>	1.752	<b>4.667</b>	<b>2.032</b>	1.820
situation-1	<b>8.178</b>	<b>-7.445</b>	<b>2.062</b>	0.910	0.229	-0.248	<b>-2.339</b>
situation-2	<b>-8.178</b>	<b>7.445</b>	<b>-2.062</b>	-0.910	-0.229	0.248	<b>2.339</b>

Les valeurs affichées en gras sont significatives au seuil  $\alpha=0.05$

## Le massif dunaire Gâvres – Penthievre – 1984 – 1999

Coordonnées standard (Variables) :

	F1	F2	F3	F4	F5	F6
route-0	-0.061	-0.225	0.104	0.104	0.265	0.178
route-4	1.183	4.362	-2.008	-2.018	-5.151	-3.451
chemin-0	0.262	-0.430	-0.940	-0.275	-0.084	0.561
chemin-5	-0.660	1.082	2.367	0.693	0.211	-1.412
morphology-1	4.566	-0.252	2.735	0.293	1.028	1.692
morphology-2	-0.336	0.019	-0.202	-0.022	-0.076	-0.125
mouvement-1	-0.644	0.404	-0.228	-0.238	-0.578	0.243
mouvement-2	1.621	-1.017	0.574	0.598	1.454	-0.612
cell sed-1	1.091	-0.478	-0.194	0.841	-0.701	-0.972
cell sed-2	-1.065	1.135	0.078	0.692	0.820	0.793
cell sed-3	-0.879	-1.161	0.415	-4.175	0.249	1.144
classe-1	1.671	-1.345	1.148	0.251	0.862	0.955
classe-2	0.113	-0.287	0.468	-1.974	-1.800	-3.058
classe-3	-0.003	-0.451	-1.307	-0.003	-0.161	1.759
classe-4	-0.472	1.863	-2.029	-0.221	1.933	-0.718
classe-5	-1.656	0.610	3.137	2.468	-0.938	0.055
orientatio-2	0.506	7.085	-1.149	-0.515	5.688	-0.288
orientatio-5	1.050	-1.880	-3.115	1.849	2.237	-4.084
orientatio-6	-0.724	-0.223	-0.043	0.648	-0.735	0.636
orientatio-7	-0.578	-0.744	2.470	-3.798	2.453	-1.139
orientatio-8	3.383	1.179	0.528	-0.659	-2.560	1.393
situation-1	2.951	3.369	0.361	-0.675	0.103	1.000
situation-2	-0.431	-0.492	-0.053	0.099	-0.015	-0.146

Contributions (Variables) :

	Poids	Poids (relatif)	F1	F2	F3	F4	F5	F6
route-0	97	0.119	0.000	0.006	0.001	0.001	0.008	0.004
route-4	5	0.006	0.009	0.117	0.025	0.025	0.163	0.073
chemin-0	73	0.089	0.006	0.017	0.079	0.007	0.001	0.028
chemin-5	29	0.036	0.015	0.042	0.199	0.017	0.002	0.071
morphology-1	7	0.009	0.179	0.001	0.064	0.001	0.009	0.025
morphology-2	95	0.116	0.013	0.000	0.005	0.000	0.001	0.002
mouvement-1	73	0.089	0.037	0.015	0.005	0.005	0.030	0.005
mouvement-2	29	0.036	0.093	0.037	0.012	0.013	0.075	0.013
cell sed-1	49	0.060	0.072	0.014	0.002	0.042	0.029	0.057
cell sed-2	37	0.045	0.051	0.058	0.000	0.022	0.030	0.029
cell sed-3	16	0.020	0.015	0.026	0.003	0.342	0.001	0.026
classe-1	19	0.023	0.065	0.042	0.031	0.001	0.017	0.021
classe-2	19	0.023	0.000	0.002	0.005	0.091	0.075	0.218
classe-3	30	0.037	0.000	0.007	0.063	0.000	0.001	0.114
classe-4	19	0.023	0.005	0.081	0.096	0.001	0.087	0.012
classe-5	15	0.018	0.050	0.007	0.181	0.112	0.016	0.000
orientatio-2	4	0.005	0.001	0.246	0.006	0.001	0.159	0.000
orientatio-5	10	0.012	0.014	0.043	0.119	0.042	0.061	0.204
orientatio-6	63	0.077	0.040	0.004	0.000	0.032	0.042	0.031
orientatio-7	13	0.016	0.005	0.009	0.097	0.230	0.096	0.021
orientatio-8	12	0.015	0.168	0.020	0.004	0.006	0.096	0.029
situation-1	13	0.016	0.139	0.181	0.002	0.007	0.000	0.016
situation-2	89	0.109	0.020	0.026	0.000	0.001	0.000	0.002

## Cosinus carrés (Variables) :

	F1	F2	F3	F4	F5	F6
route-0	0.026	0.252	0.038	0.035	0.208	0.090
route-4	0.026	0.252	0.038	0.035	0.208	0.090
chemin-0	0.062	0.119	0.405	0.032	0.003	0.116
chemin-5	0.062	0.119	0.405	0.032	0.003	0.116
morphology-1	0.548	0.001	0.100	0.001	0.012	0.031
morphology-2	0.548	0.001	0.100	0.001	0.012	0.031
mouvment-1	0.372	0.106	0.024	0.024	0.128	0.022
mouvment-2	0.372	0.106	0.024	0.024	0.128	0.022
cell sed-1	0.393	0.054	0.006	0.110	0.069	0.128
cell sed-2	0.230	0.189	0.001	0.046	0.058	0.052
cell sed-3	0.051	0.064	0.006	0.543	0.002	0.036
classe-1	0.228	0.106	0.055	0.002	0.026	0.031
classe-2	0.001	0.005	0.009	0.149	0.113	0.314
classe-3	0.000	0.022	0.130	0.000	0.002	0.189
classe-4	0.018	0.204	0.171	0.002	0.130	0.017
classe-5	0.169	0.016	0.309	0.176	0.023	0.000
orientatio-2	0.004	0.527	0.010	0.002	0.201	0.000
orientatio-5	0.043	0.099	0.192	0.062	0.083	0.266
orientatio-6	0.302	0.021	0.001	0.114	0.133	0.096
orientatio-7	0.017	0.021	0.162	0.353	0.134	0.028
orientatio-8	0.544	0.048	0.007	0.010	0.133	0.038
situation-1	0.453	0.426	0.003	0.011	0.000	0.021
situation-2	0.453	0.426	0.003	0.011	0.000	0.021

## Valeurs test (Variables) :

	F1	F2	F3	F4	F5	F6
route-0	-1.612	<b>-5.045</b>	1.954	1.885	<b>4.584</b>	<b>3.013</b>
route-4	1.612	<b>5.045</b>	-1.954	-1.885	<b>-4.584</b>	<b>-3.013</b>
chemin-0	<b>2.495</b>	<b>-3.473</b>	<b>-6.394</b>	-1.798	-0.522	<b>3.423</b>
chemin-5	<b>-2.495</b>	<b>3.473</b>	<b>6.394</b>	1.798	0.522	<b>-3.423</b>
morphology-1	<b>7.438</b>	-0.348	<b>3.181</b>	0.327	1.094	1.766
morphology-2	<b>-7.438</b>	0.348	<b>-3.181</b>	-0.327	-1.094	-1.766
mouvment-1	<b>-6.132</b>	<b>3.265</b>	-1.551	-1.552	<b>-3.594</b>	1.484
mouvment-2	<b>6.132</b>	<b>-3.265</b>	1.551	1.552	<b>3.594</b>	-1.484
cell sed-1	<b>6.297</b>	<b>-2.343</b>	-0.801	<b>3.326</b>	<b>-2.641</b>	<b>-3.595</b>
cell sed-2	<b>-4.823</b>	<b>4.364</b>	0.252	<b>2.147</b>	<b>2.425</b>	<b>2.301</b>
cell sed-3	<b>-2.275</b>	<b>-2.551</b>	0.766	<b>-7.408</b>	0.422	1.898
classe-1	<b>4.798</b>	<b>-3.277</b>	<b>2.354</b>	0.493	1.616	1.757
classe-2	0.325	-0.700	0.960	<b>-3.885</b>	<b>-3.376</b>	<b>-5.627</b>
classe-3	-0.013	-1.484	<b>-3.617</b>	-0.007	-0.408	<b>4.367</b>
classe-4	-1.354	<b>4.541</b>	<b>-4.160</b>	-0.436	<b>3.626</b>	-1.321
classe-5	<b>-4.127</b>	1.290	<b>5.583</b>	<b>4.216</b>	-1.527	0.088
orientatio-2	0.613	<b>7.292</b>	-0.995	-0.428	<b>4.505</b>	-0.223
orientatio-5	<b>2.077</b>	<b>-3.157</b>	<b>-4.401</b>	<b>2.508</b>	<b>2.891</b>	<b>-5.179</b>
orientatio-6	<b>-5.521</b>	-1.442	-0.233	<b>3.391</b>	<b>-3.661</b>	<b>3.110</b>
orientatio-7	-1.326	-1.448	<b>4.045</b>	<b>-5.973</b>	<b>3.676</b>	-1.674
orientatio-8	<b>7.414</b>	<b>2.194</b>	0.826	-0.989	<b>-3.665</b>	1.956
situation-1	<b>6.767</b>	<b>6.560</b>	0.591	-1.061	0.154	1.470
situation-2	<b>-6.767</b>	<b>-6.560</b>	-0.591	1.061	-0.154	-1.470

Les valeurs affichées en gras sont significatives au seuil alpha=0.05

## Le massif dunaire Gâvres – Penthièvre – 1999 – 2000

Coordonnées standard (Variables) :

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
route-0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
chemin-0	0.005	0.003	0.000	-0.050	0.107	-0.011	0.099
chemin-5	-0.903	-0.619	0.077	8.913	-18.986	1.889	-17.616
morphology-1	3.679	3.708	-0.070	1.606	1.140	-0.395	-0.405
morphology-2	-0.338	-0.340	0.006	-0.147	-0.105	0.036	0.037
mouvement-1	-1.009	0.059	0.670	-0.971	1.111	0.360	-0.389
mouvement-2	0.887	-0.052	-0.589	0.853	-0.976	-0.317	0.342
cell sed-1	1.099	1.264	-1.354	-0.946	-0.141	-0.015	0.186
cell sed-2	-0.346	-1.631	0.037	0.504	0.735	-0.077	-0.184
cell sed-3	-1.494	1.555	2.877	0.740	-1.641	0.237	0.079
orientatio-2	2.983	-4.886	4.613	-1.765	0.540	-4.409	-1.866
orientatio-4	2.694	4.098	-2.967	2.573	5.510	-4.842	-3.285
orientatio-5	-0.247	1.790	-2.346	-7.511	-2.083	-1.530	-0.942
orientatio-6	-0.643	-0.684	-0.991	0.268	0.398	0.391	0.202
orientatio-7	-0.633	1.852	2.289	1.379	-1.240	-0.374	0.339
orientatio-8	5.320	1.013	0.787	-1.065	-0.774	5.303	0.806
situation-1	4.307	-1.998	2.818	-1.313	0.094	-0.004	-0.699
situation-2	-0.498	0.231	-0.326	0.152	-0.011	0.000	0.081
classe-1	-0.712	0.854	1.106	-2.662	-0.863	0.634	0.415
classe-2	0.036	0.756	1.023	1.078	2.323	0.592	0.316
classe-3	-0.039	-0.024	-0.941	0.166	-0.686	-2.476	-1.562
classe-4	0.598	-1.835	-1.375	0.835	-1.014	3.240	-0.900
classe-5	1.223	-2.075	-0.749	1.326	-3.387	-3.914	10.711

Contributions (Variables) :

	Poids	Poids (relatif)	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
route-0	357	0.125	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
chemin-0	355	0.124	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001
chemin-5	2	0.001	0.001	0.000	0.000	0.056	0.252	0.002	0.217
morphology-1	30	0.011	0.142	0.144	0.000	0.027	0.014	0.002	0.002
morphology-2	327	0.114	0.013	0.013	0.000	0.002	0.001	0.000	0.000
mouvement-1	167	0.058	0.060	0.000	0.026	0.055	0.072	0.008	0.009
mouvement-2	190	0.067	0.052	0.000	0.023	0.048	0.063	0.007	0.008
cell sed-1	134	0.047	0.057	0.075	0.086	0.042	0.001	0.000	0.002
cell sed-2	162	0.057	0.007	0.151	0.000	0.014	0.031	0.000	0.002
cell sed-3	61	0.021	0.048	0.052	0.177	0.012	0.058	0.001	0.000
orientatio-2	19	0.007	0.059	0.159	0.142	0.021	0.002	0.129	0.023
orientatio-4	10	0.004	0.025	0.059	0.031	0.023	0.106	0.082	0.038
orientatio-5	18	0.006	0.000	0.020	0.035	0.356	0.027	0.015	0.006
orientatio-6	212	0.074	0.031	0.035	0.073	0.005	0.012	0.011	0.003
orientatio-7	78	0.027	0.011	0.094	0.143	0.052	0.042	0.004	0.003
orientatio-8	20	0.007	0.198	0.007	0.004	0.008	0.004	0.197	0.005
situation-1	37	0.013	0.240	0.052	0.103	0.022	0.000	0.000	0.006
situation-2	320	0.112	0.028	0.006	0.012	0.003	0.000	0.000	0.001
classe-1	75	0.026	0.013	0.019	0.032	0.186	0.020	0.011	0.005
classe-2	105	0.037	0.000	0.021	0.039	0.043	0.198	0.013	0.004
classe-3	102	0.036	0.000	0.000	0.032	0.001	0.017	0.219	0.087
classe-4	61	0.021	0.008	0.072	0.040	0.015	0.022	0.224	0.017
classe-5	14	0.005	0.007	0.021	0.003	0.009	0.056	0.075	0.562

## Cosinus carrés (Variables) :

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
route-0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
chemin-0	0.001	0.001	0.000	0.074	0.292	0.003	0.225
chemin-5	0.001	0.001	0.000	0.074	0.292	0.003	0.225
morphology-1	0.366	0.296	0.000	0.039	0.017	0.002	0.002
morphology-2	0.366	0.296	0.000	0.039	0.017	0.002	0.002
mouvment-1	0.264	0.001	0.075	0.136	0.156	0.016	0.017
mouvment-2	0.264	0.001	0.075	0.136	0.156	0.016	0.017
cell sed-1	0.214	0.226	0.209	0.088	0.002	0.000	0.003
cell sed-2	0.029	0.519	0.000	0.035	0.064	0.001	0.004
cell sed-3	0.136	0.117	0.324	0.019	0.080	0.002	0.000
orientatio-2	0.147	0.315	0.227	0.029	0.002	0.150	0.025
orientatio-4	0.062	0.114	0.048	0.031	0.126	0.093	0.040
orientatio-5	0.001	0.040	0.055	0.492	0.033	0.017	0.006
orientatio-6	0.178	0.161	0.273	0.017	0.033	0.031	0.008
orientatio-7	0.033	0.225	0.278	0.087	0.062	0.005	0.004
orientatio-8	0.495	0.014	0.007	0.011	0.005	0.230	0.005
situation-1	0.632	0.108	0.174	0.033	0.000	0.000	0.007
situation-2	0.632	0.108	0.174	0.033	0.000	0.000	0.007
classe-1	0.040	0.046	0.062	0.310	0.028	0.015	0.006
classe-2	0.000	0.056	0.083	0.080	0.323	0.020	0.005
classe-3	0.000	0.000	0.067	0.002	0.027	0.337	0.126
classe-4	0.022	0.163	0.074	0.024	0.030	0.298	0.022
classe-5	0.018	0.041	0.004	0.012	0.067	0.086	0.604

## Valeurs test (Variables) :

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
route-0							
chemin-0	0.694	0.425	-0.047	<b>-5.117</b>	<b>10.187</b>	-0.992	<b>8.958</b>
chemin-5	-0.694	-0.425	0.047	<b>5.117</b>	<b>-10.187</b>	0.992	<b>-8.958</b>
morphology-1	<b>11.417</b>	<b>10.272</b>	-0.174	<b>3.722</b>	<b>2.468</b>	-0.837	-0.832
morphology-2	<b>-11.417</b>	<b>-10.272</b>	0.174	<b>-3.722</b>	<b>-2.468</b>	0.837	0.832
mouvment-1	<b>-9.693</b>	0.503	<b>5.162</b>	<b>-6.962</b>	<b>7.443</b>	<b>2.364</b>	<b>-2.474</b>
mouvment-2	<b>9.693</b>	-0.503	<b>-5.162</b>	<b>6.962</b>	<b>-7.443</b>	<b>-2.364</b>	<b>2.474</b>
cell sed-1	<b>8.727</b>	<b>8.960</b>	<b>-8.632</b>	<b>-5.606</b>	-0.782	-0.082	0.978
cell sed-2	<b>-3.235</b>	<b>-13.595</b>	0.277	<b>3.510</b>	<b>4.787</b>	-0.490	-1.134
cell sed-3	<b>-6.947</b>	<b>6.455</b>	<b>10.739</b>	<b>2.569</b>	<b>-5.326</b>	0.754	0.241
orientatio-2	<b>7.246</b>	<b>-10.597</b>	<b>8.992</b>	<b>-3.200</b>	0.916	<b>-7.318</b>	<b>-2.996</b>
orientatio-4	<b>4.686</b>	<b>6.364</b>	<b>-4.142</b>	<b>3.340</b>	<b>6.687</b>	<b>-5.753</b>	<b>-3.778</b>
orientatio-5	-0.582	<b>3.772</b>	<b>-4.444</b>	<b>-13.237</b>	<b>-3.430</b>	<b>-2.468</b>	-1.470
orientatio-6	<b>-7.960</b>	<b>-7.566</b>	<b>-9.851</b>	<b>2.475</b>	<b>3.436</b>	<b>3.307</b>	1.651
orientatio-7	<b>-3.428</b>	<b>8.955</b>	<b>9.952</b>	<b>5.577</b>	<b>-4.685</b>	-1.383	1.213
orientatio-8	<b>13.279</b>	<b>2.256</b>	1.576	<b>-1.985</b>	-1.348	<b>9.042</b>	1.330
situation-1	<b>15.005</b>	<b>-6.214</b>	<b>7.879</b>	<b>-3.414</b>	0.228	-0.010	-1.611
situation-2	<b>-15.005</b>	<b>6.214</b>	<b>-7.879</b>	<b>3.414</b>	-0.228	0.010	1.611
classe-1	<b>-3.762</b>	<b>4.031</b>	<b>4.690</b>	<b>-10.499</b>	<b>-3.182</b>	<b>2.289</b>	1.449
classe-2	0.237	<b>4.462</b>	<b>5.432</b>	<b>5.323</b>	<b>10.721</b>	<b>2.674</b>	1.382
classe-3	-0.252	-0.139	<b>-4.896</b>	0.802	<b>-3.100</b>	<b>-10.960</b>	<b>-6.692</b>
classe-4	<b>2.782</b>	<b>-7.619</b>	<b>-5.134</b>	<b>2.900</b>	<b>-3.291</b>	<b>10.294</b>	<b>-2.769</b>
classe-5	<b>2.531</b>	<b>-3.834</b>	-1.244	<b>2.049</b>	<b>-4.892</b>	<b>-5.535</b>	<b>14.660</b>

Les valeurs affichées en gras sont significatives au seuil  $\alpha=0.05$

## Le massif dunaire Gâvres – Penthièvre – 2000 – 2004

Coordonnées standard (Variables) :

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
route-0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
chemin-0	0.005	0.003	0.000	-0.050	0.107	-0.011	0.099
chemin-5	-0.903	-0.619	0.077	8.913	-18.986	1.889	-17.616
morphology-1	3.679	3.708	-0.070	1.606	1.140	-0.395	-0.405
morphology-2	-0.338	-0.340	0.006	-0.147	-0.105	0.036	0.037
mouvement-1	-1.009	0.059	0.670	-0.971	1.111	0.360	-0.389
mouvement-2	0.887	-0.052	-0.589	0.853	-0.976	-0.317	0.342
cell sed-1	1.099	1.264	-1.354	-0.946	-0.141	-0.015	0.186
cell sed-2	-0.346	-1.631	0.037	0.504	0.735	-0.077	-0.184
cell sed-3	-1.494	1.555	2.877	0.740	-1.641	0.237	0.079
orientatio-2	2.983	-4.886	4.613	-1.765	0.540	-4.409	-1.866
orientatio-4	2.694	4.098	-2.967	2.573	5.510	-4.842	-3.285
orientatio-5	-0.247	1.790	-2.346	-7.511	-2.083	-1.530	-0.942
orientatio-6	-0.643	-0.684	-0.991	0.268	0.398	0.391	0.202
orientatio-7	-0.633	1.852	2.289	1.379	-1.240	-0.374	0.339
orientatio-8	5.320	1.013	0.787	-1.065	-0.774	5.303	0.806
situation-1	4.307	-1.998	2.818	-1.313	0.094	-0.004	-0.699
situation-2	-0.498	0.231	-0.326	0.152	-0.011	0.000	0.081
classe-1	-0.712	0.854	1.106	-2.662	-0.863	0.634	0.415
classe-2	0.036	0.756	1.023	1.078	2.323	0.592	0.316
classe-3	-0.039	-0.024	-0.941	0.166	-0.686	-2.476	-1.562
classe-4	0.598	-1.835	-1.375	0.835	-1.014	3.240	-0.900
classe-5	1.223	-2.075	-0.749	1.326	-3.387	-3.914	10.711

Contributions (Variables) :

	Poids	Poids (relatif)	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
route-0	357	0.125	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
chemin-0	355	0.124	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001
chemin-5	2	0.001	0.001	0.000	0.000	0.056	0.252	0.002	0.217
morphology-1	30	0.011	0.142	0.144	0.000	0.027	0.014	0.002	0.002
morphology-2	327	0.114	0.013	0.013	0.000	0.002	0.001	0.000	0.000
mouvement-1	167	0.058	0.060	0.000	0.026	0.055	0.072	0.008	0.009
mouvement-2	190	0.067	0.052	0.000	0.023	0.048	0.063	0.007	0.008
cell sed-1	134	0.047	0.057	0.075	0.086	0.042	0.001	0.000	0.002
cell sed-2	162	0.057	0.007	0.151	0.000	0.014	0.031	0.000	0.002
cell sed-3	61	0.021	0.048	0.052	0.177	0.012	0.058	0.001	0.000
orientatio-2	19	0.007	0.059	0.159	0.142	0.021	0.002	0.129	0.023
orientatio-4	10	0.004	0.025	0.059	0.031	0.023	0.106	0.082	0.038
orientatio-5	18	0.006	0.000	0.020	0.035	0.356	0.027	0.015	0.006
orientatio-6	212	0.074	0.031	0.035	0.073	0.005	0.012	0.011	0.003
orientatio-7	78	0.027	0.011	0.094	0.143	0.052	0.042	0.004	0.003
orientatio-8	20	0.007	0.198	0.007	0.004	0.008	0.004	0.197	0.005
situation-1	37	0.013	0.240	0.052	0.103	0.022	0.000	0.000	0.006
situation-2	320	0.112	0.028	0.006	0.012	0.003	0.000	0.000	0.001
classe-1	75	0.026	0.013	0.019	0.032	0.186	0.020	0.011	0.005
classe-2	105	0.037	0.000	0.021	0.039	0.043	0.198	0.013	0.004
classe-3	102	0.036	0.000	0.000	0.032	0.001	0.017	0.219	0.087
classe-4	61	0.021	0.008	0.072	0.040	0.015	0.022	0.224	0.017
classe-5	14	0.005	0.007	0.021	0.003	0.009	0.056	0.075	0.562



## Cosinus carrés (Variables) :

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
route-0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
chemin-0	0.001	0.001	0.000	0.074	0.292	0.003	0.225
chemin-5	0.001	0.001	0.000	0.074	0.292	0.003	0.225
morphology-1	0.366	0.296	0.000	0.039	0.017	0.002	0.002
morphology-2	0.366	0.296	0.000	0.039	0.017	0.002	0.002
mouvment-1	0.264	0.001	0.075	0.136	0.156	0.016	0.017
mouvment-2	0.264	0.001	0.075	0.136	0.156	0.016	0.017
cell sed-1	0.214	0.226	0.209	0.088	0.002	0.000	0.003
cell sed-2	0.029	0.519	0.000	0.035	0.064	0.001	0.004
cell sed-3	0.136	0.117	0.324	0.019	0.080	0.002	0.000
orientatio-2	0.147	0.315	0.227	0.029	0.002	0.150	0.025
orientatio-4	0.062	0.114	0.048	0.031	0.126	0.093	0.040
orientatio-5	0.001	0.040	0.055	0.492	0.033	0.017	0.006
orientatio-6	0.178	0.161	0.273	0.017	0.033	0.031	0.008
orientatio-7	0.033	0.225	0.278	0.087	0.062	0.005	0.004
orientatio-8	0.495	0.014	0.007	0.011	0.005	0.230	0.005
situation-1	0.632	0.108	0.174	0.033	0.000	0.000	0.007
situation-2	0.632	0.108	0.174	0.033	0.000	0.000	0.007
classe-1	0.040	0.046	0.062	0.310	0.028	0.015	0.006
classe-2	0.000	0.056	0.083	0.080	0.323	0.020	0.005
classe-3	0.000	0.000	0.067	0.002	0.027	0.337	0.126
classe-4	0.022	0.163	0.074	0.024	0.030	0.298	0.022
classe-5	0.018	0.041	0.004	0.012	0.067	0.086	0.604

## Valeurs test (Variables) :

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
route-0							
chemin-0	0.694	0.425	-0.047	<b>-5.117</b>	<b>10.187</b>	-0.992	<b>8.958</b>
chemin-5	-0.694	-0.425	0.047	<b>5.117</b>	<b>-10.187</b>	0.992	<b>-8.958</b>
morphology-1	<b>11.417</b>	<b>10.272</b>	-0.174	<b>3.722</b>	<b>2.468</b>	-0.837	-0.832
morphology-2	<b>-11.417</b>	<b>-10.272</b>	0.174	<b>-3.722</b>	<b>-2.468</b>	0.837	0.832
mouvment-1	<b>-9.693</b>	0.503	<b>5.162</b>	<b>-6.962</b>	<b>7.443</b>	<b>2.364</b>	<b>-2.474</b>
mouvment-2	<b>9.693</b>	-0.503	<b>-5.162</b>	<b>6.962</b>	<b>-7.443</b>	<b>-2.364</b>	<b>2.474</b>
cell sed-1	<b>8.727</b>	<b>8.960</b>	<b>-8.632</b>	<b>-5.606</b>	-0.782	-0.082	0.978
cell sed-2	<b>-3.235</b>	<b>-13.595</b>	0.277	<b>3.510</b>	<b>4.787</b>	-0.490	-1.134
cell sed-3	<b>-6.947</b>	<b>6.455</b>	<b>10.739</b>	<b>2.569</b>	<b>-5.326</b>	0.754	0.241
orientatio-2	<b>7.246</b>	<b>-10.597</b>	<b>8.992</b>	<b>-3.200</b>	0.916	<b>-7.318</b>	<b>-2.996</b>
orientatio-4	<b>4.686</b>	<b>6.364</b>	<b>-4.142</b>	<b>3.340</b>	<b>6.687</b>	<b>-5.753</b>	<b>-3.778</b>
orientatio-5	-0.582	<b>3.772</b>	<b>-4.444</b>	<b>-13.237</b>	<b>-3.430</b>	<b>-2.468</b>	-1.470
orientatio-6	<b>-7.960</b>	<b>-7.566</b>	<b>-9.851</b>	<b>2.475</b>	<b>3.436</b>	<b>3.307</b>	1.651
orientatio-7	<b>-3.428</b>	<b>8.955</b>	<b>9.952</b>	<b>5.577</b>	<b>-4.685</b>	-1.383	1.213
orientatio-8	<b>13.279</b>	<b>2.256</b>	1.576	<b>-1.985</b>	-1.348	<b>9.042</b>	1.330
situation-1	<b>15.005</b>	<b>-6.214</b>	<b>7.879</b>	<b>-3.414</b>	0.228	-0.010	-1.611
situation-2	<b>-15.005</b>	<b>6.214</b>	<b>-7.879</b>	<b>3.414</b>	-0.228	0.010	1.611
classe-1	<b>-3.762</b>	<b>4.031</b>	<b>4.690</b>	<b>-10.499</b>	<b>-3.182</b>	<b>2.289</b>	1.449
classe-2	0.237	<b>4.462</b>	<b>5.432</b>	<b>5.323</b>	<b>10.721</b>	<b>2.674</b>	1.382
classe-3	-0.252	-0.139	<b>-4.896</b>	0.802	<b>-3.100</b>	<b>-10.960</b>	<b>-6.692</b>
classe-4	<b>2.782</b>	<b>-7.619</b>	<b>-5.134</b>	<b>2.900</b>	<b>-3.291</b>	<b>10.294</b>	<b>-2.769</b>
classe-5	<b>2.531</b>	<b>-3.834</b>	-1.244	<b>2.049</b>	<b>-4.892</b>	<b>-5.535</b>	<b>14.660</b>

Les valeurs affichées en gras sont significatives au seuil  $\alpha=0.05$



## La baie de Quiberon – 1952 – 2004

Coordonnées standard (Variables) :

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
route-0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
chemin-0	0.005	0.003	0.000	-0.050	0.107	-0.011	0.099
chemin-5	-0.903	-0.619	0.077	8.913	-18.986	1.889	-17.616
morphology-1	3.679	3.708	-0.070	1.606	1.140	-0.395	-0.405
morphology-2	-0.338	-0.340	0.006	-0.147	-0.105	0.036	0.037
mouvement-1	-1.009	0.059	0.670	-0.971	1.111	0.360	-0.389
mouvement-2	0.887	-0.052	-0.589	0.853	-0.976	-0.317	0.342
cell sed-1	1.099	1.264	-1.354	-0.946	-0.141	-0.015	0.186
cell sed-2	-0.346	-1.631	0.037	0.504	0.735	-0.077	-0.184
cell sed-3	-1.494	1.555	2.877	0.740	-1.641	0.237	0.079
orientatio-2	2.983	-4.886	4.613	-1.765	0.540	-4.409	-1.866
orientatio-4	2.694	4.098	-2.967	2.573	5.510	-4.842	-3.285
orientatio-5	-0.247	1.790	-2.346	-7.511	-2.083	-1.530	-0.942
orientatio-6	-0.643	-0.684	-0.991	0.268	0.398	0.391	0.202
orientatio-7	-0.633	1.852	2.289	1.379	-1.240	-0.374	0.339
orientatio-8	5.320	1.013	0.787	-1.065	-0.774	5.303	0.806
situation-1	4.307	-1.998	2.818	-1.313	0.094	-0.004	-0.699
situation-2	-0.498	0.231	-0.326	0.152	-0.011	0.000	0.081
classe-1	-0.712	0.854	1.106	-2.662	-0.863	0.634	0.415
classe-2	0.036	0.756	1.023	1.078	2.323	0.592	0.316
classe-3	-0.039	-0.024	-0.941	0.166	-0.686	-2.476	-1.562
classe-4	0.598	-1.835	-1.375	0.835	-1.014	3.240	-0.900
classe-5	1.223	-2.075	-0.749	1.326	-3.387	-3.914	10.711

Contributions (Variables) :

	Poids	Poids (relatif)	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
route-0	357	0.125	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
chemin-0	355	0.124	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001
chemin-5	2	0.001	0.001	0.000	0.000	0.056	0.252	0.002	0.217
morphology-1	30	0.011	0.142	0.144	0.000	0.027	0.014	0.002	0.002
morphology-2	327	0.114	0.013	0.013	0.000	0.002	0.001	0.000	0.000
mouvement-1	167	0.058	0.060	0.000	0.026	0.055	0.072	0.008	0.009
mouvement-2	190	0.067	0.052	0.000	0.023	0.048	0.063	0.007	0.008
cell sed-1	134	0.047	0.057	0.075	0.086	0.042	0.001	0.000	0.002
cell sed-2	162	0.057	0.007	0.151	0.000	0.014	0.031	0.000	0.002
cell sed-3	61	0.021	0.048	0.052	0.177	0.012	0.058	0.001	0.000
orientatio-2	19	0.007	0.059	0.159	0.142	0.021	0.002	0.129	0.023
orientatio-4	10	0.004	0.025	0.059	0.031	0.023	0.106	0.082	0.038
orientatio-5	18	0.006	0.000	0.020	0.035	0.356	0.027	0.015	0.006
orientatio-6	212	0.074	0.031	0.035	0.073	0.005	0.012	0.011	0.003
orientatio-7	78	0.027	0.011	0.094	0.143	0.052	0.042	0.004	0.003
orientatio-8	20	0.007	0.198	0.007	0.004	0.008	0.004	0.197	0.005
situation-1	37	0.013	0.240	0.052	0.103	0.022	0.000	0.000	0.006
situation-2	320	0.112	0.028	0.006	0.012	0.003	0.000	0.000	0.001
classe-1	75	0.026	0.013	0.019	0.032	0.186	0.020	0.011	0.005
classe-2	105	0.037	0.000	0.021	0.039	0.043	0.198	0.013	0.004
classe-3	102	0.036	0.000	0.000	0.032	0.001	0.017	0.219	0.087
classe-4	61	0.021	0.008	0.072	0.040	0.015	0.022	0.224	0.017
classe-5	14	0.005	0.007	0.021	0.003	0.009	0.056	0.075	0.562

## Cosinus carrés (Variables) :

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
route-0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
chemin-0	0.001	0.001	0.000	0.074	0.292	0.003	0.225
chemin-5	0.001	0.001	0.000	0.074	0.292	0.003	0.225
morphology-1	0.366	0.296	0.000	0.039	0.017	0.002	0.002
morphology-2	0.366	0.296	0.000	0.039	0.017	0.002	0.002
mouvment-1	0.264	0.001	0.075	0.136	0.156	0.016	0.017
mouvment-2	0.264	0.001	0.075	0.136	0.156	0.016	0.017
cell sed-1	0.214	0.226	0.209	0.088	0.002	0.000	0.003
cell sed-2	0.029	0.519	0.000	0.035	0.064	0.001	0.004
cell sed-3	0.136	0.117	0.324	0.019	0.080	0.002	0.000
orientatio-2	0.147	0.315	0.227	0.029	0.002	0.150	0.025
orientatio-4	0.062	0.114	0.048	0.031	0.126	0.093	0.040
orientatio-5	0.001	0.040	0.055	0.492	0.033	0.017	0.006
orientatio-6	0.178	0.161	0.273	0.017	0.033	0.031	0.008
orientatio-7	0.033	0.225	0.278	0.087	0.062	0.005	0.004
orientatio-8	0.495	0.014	0.007	0.011	0.005	0.230	0.005
situation-1	0.632	0.108	0.174	0.033	0.000	0.000	0.007
situation-2	0.632	0.108	0.174	0.033	0.000	0.000	0.007
classe-1	0.040	0.046	0.062	0.310	0.028	0.015	0.006
classe-2	0.000	0.056	0.083	0.080	0.323	0.020	0.005
classe-3	0.000	0.000	0.067	0.002	0.027	0.337	0.126
classe-4	0.022	0.163	0.074	0.024	0.030	0.298	0.022
classe-5	0.018	0.041	0.004	0.012	0.067	0.086	0.604

## Valeurs test (Variables) :

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
route-0							
chemin-0	0.694	0.425	-0.047	<b>-5.117</b>	<b>10.187</b>	-0.992	<b>8.958</b>
chemin-5	-0.694	-0.425	0.047	<b>5.117</b>	<b>-10.187</b>	0.992	<b>-8.958</b>
morphology-1	<b>11.417</b>	<b>10.272</b>	-0.174	<b>3.722</b>	<b>2.468</b>	-0.837	-0.832
morphology-2	<b>-11.417</b>	<b>-10.272</b>	0.174	<b>-3.722</b>	<b>-2.468</b>	0.837	0.832
mouvment-1	<b>-9.693</b>	0.503	<b>5.162</b>	<b>-6.962</b>	<b>7.443</b>	<b>2.364</b>	<b>-2.474</b>
mouvment-2	<b>9.693</b>	-0.503	<b>-5.162</b>	<b>6.962</b>	<b>-7.443</b>	<b>-2.364</b>	<b>2.474</b>
cell sed-1	<b>8.727</b>	<b>8.960</b>	<b>-8.632</b>	<b>-5.606</b>	-0.782	-0.082	0.978
cell sed-2	<b>-3.235</b>	<b>-13.595</b>	0.277	<b>3.510</b>	<b>4.787</b>	-0.490	-1.134
cell sed-3	<b>-6.947</b>	<b>6.455</b>	<b>10.739</b>	<b>2.569</b>	<b>-5.326</b>	0.754	0.241
orientatio-2	<b>7.246</b>	<b>-10.597</b>	<b>8.992</b>	<b>-3.200</b>	0.916	<b>-7.318</b>	<b>-2.996</b>
orientatio-4	<b>4.686</b>	<b>6.364</b>	<b>-4.142</b>	<b>3.340</b>	<b>6.687</b>	<b>-5.753</b>	<b>-3.778</b>
orientatio-5	-0.582	<b>3.772</b>	<b>-4.444</b>	<b>-13.237</b>	<b>-3.430</b>	<b>-2.468</b>	-1.470
orientatio-6	<b>-7.960</b>	<b>-7.566</b>	<b>-9.851</b>	<b>2.475</b>	<b>3.436</b>	<b>3.307</b>	1.651
orientatio-7	<b>-3.428</b>	<b>8.955</b>	<b>9.952</b>	<b>5.577</b>	<b>-4.685</b>	-1.383	1.213
orientatio-8	<b>13.279</b>	<b>2.256</b>	1.576	<b>-1.985</b>	-1.348	<b>9.042</b>	1.330
situation-1	<b>15.005</b>	<b>-6.214</b>	<b>7.879</b>	<b>-3.414</b>	0.228	-0.010	-1.611
situation-2	<b>-15.005</b>	<b>6.214</b>	<b>-7.879</b>	<b>3.414</b>	-0.228	0.010	1.611
classe-1	<b>-3.762</b>	<b>4.031</b>	<b>4.690</b>	<b>-10.499</b>	<b>-3.182</b>	<b>2.289</b>	1.449
classe-2	0.237	<b>4.462</b>	<b>5.432</b>	<b>5.323</b>	<b>10.721</b>	<b>2.674</b>	1.382
classe-3	-0.252	-0.139	<b>-4.896</b>	0.802	<b>-3.100</b>	<b>-10.960</b>	<b>-6.692</b>
classe-4	<b>2.782</b>	<b>-7.619</b>	<b>-5.134</b>	<b>2.900</b>	<b>-3.291</b>	<b>10.294</b>	<b>-2.769</b>
classe-5	<b>2.531</b>	<b>-3.834</b>	-1.244	<b>2.049</b>	<b>-4.892</b>	<b>-5.535</b>	<b>14.660</b>

Les valeurs affichées en gras sont significatives au seuil  $\alpha=0.05$

## La baie de Quiberon – 1952 – 1985

Coordonnées standard (Variables) :

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
route-0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
chemin-0	0.005	0.003	0.000	-0.050	0.107	-0.011	0.099
chemin-5	-0.903	-0.619	0.077	8.913	-18.986	1.889	-17.616
morphology-1	3.679	3.708	-0.070	1.606	1.140	-0.395	-0.405
morphology-2	-0.338	-0.340	0.006	-0.147	-0.105	0.036	0.037
mouvement-1	-1.009	0.059	0.670	-0.971	1.111	0.360	-0.389
mouvement-2	0.887	-0.052	-0.589	0.853	-0.976	-0.317	0.342
cell sed-1	1.099	1.264	-1.354	-0.946	-0.141	-0.015	0.186
cell sed-2	-0.346	-1.631	0.037	0.504	0.735	-0.077	-0.184
cell sed-3	-1.494	1.555	2.877	0.740	-1.641	0.237	0.079
orientatio-2	2.983	-4.886	4.613	-1.765	0.540	-4.409	-1.866
orientatio-4	2.694	4.098	-2.967	2.573	5.510	-4.842	-3.285
orientatio-5	-0.247	1.790	-2.346	-7.511	-2.083	-1.530	-0.942
orientatio-6	-0.643	-0.684	-0.991	0.268	0.398	0.391	0.202
orientatio-7	-0.633	1.852	2.289	1.379	-1.240	-0.374	0.339
orientatio-8	5.320	1.013	0.787	-1.065	-0.774	5.303	0.806
situation-1	4.307	-1.998	2.818	-1.313	0.094	-0.004	-0.699
situation-2	-0.498	0.231	-0.326	0.152	-0.011	0.000	0.081
classe-1	-0.712	0.854	1.106	-2.662	-0.863	0.634	0.415
classe-2	0.036	0.756	1.023	1.078	2.323	0.592	0.316
classe-3	-0.039	-0.024	-0.941	0.166	-0.686	-2.476	-1.562
classe-4	0.598	-1.835	-1.375	0.835	-1.014	3.240	-0.900
classe-5	1.223	-2.075	-0.749	1.326	-3.387	-3.914	10.711

Contributions (Variables) :

	Poids	Poids (relatif)	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
route-0	357	0.125	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
chemin-0	355	0.124	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001
chemin-5	2	0.001	0.001	0.000	0.000	0.056	0.252	0.002	0.217
morphology-1	30	0.011	0.142	0.144	0.000	0.027	0.014	0.002	0.002
morphology-2	327	0.114	0.013	0.013	0.000	0.002	0.001	0.000	0.000
mouvement-1	167	0.058	0.060	0.000	0.026	0.055	0.072	0.008	0.009
mouvement-2	190	0.067	0.052	0.000	0.023	0.048	0.063	0.007	0.008
cell sed-1	134	0.047	0.057	0.075	0.086	0.042	0.001	0.000	0.002
cell sed-2	162	0.057	0.007	0.151	0.000	0.014	0.031	0.000	0.002
cell sed-3	61	0.021	0.048	0.052	0.177	0.012	0.058	0.001	0.000
orientatio-2	19	0.007	0.059	0.159	0.142	0.021	0.002	0.129	0.023
orientatio-4	10	0.004	0.025	0.059	0.031	0.023	0.106	0.082	0.038
orientatio-5	18	0.006	0.000	0.020	0.035	0.356	0.027	0.015	0.006
orientatio-6	212	0.074	0.031	0.035	0.073	0.005	0.012	0.011	0.003
orientatio-7	78	0.027	0.011	0.094	0.143	0.052	0.042	0.004	0.003
orientatio-8	20	0.007	0.198	0.007	0.004	0.008	0.004	0.197	0.005
situation-1	37	0.013	0.240	0.052	0.103	0.022	0.000	0.000	0.006
situation-2	320	0.112	0.028	0.006	0.012	0.003	0.000	0.000	0.001
classe-1	75	0.026	0.013	0.019	0.032	0.186	0.020	0.011	0.005
classe-2	105	0.037	0.000	0.021	0.039	0.043	0.198	0.013	0.004
classe-3	102	0.036	0.000	0.000	0.032	0.001	0.017	0.219	0.087
classe-4	61	0.021	0.008	0.072	0.040	0.015	0.022	0.224	0.017
classe-5	14	0.005	0.007	0.021	0.003	0.009	0.056	0.075	0.562

## Cosinus carrés (Variables) :

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
route-0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
chemin-0	0.001	0.001	0.000	0.074	0.292	0.003	0.225
chemin-5	0.001	0.001	0.000	0.074	0.292	0.003	0.225
morphology-1	0.366	0.296	0.000	0.039	0.017	0.002	0.002
morphology-2	0.366	0.296	0.000	0.039	0.017	0.002	0.002
mouvment-1	0.264	0.001	0.075	0.136	0.156	0.016	0.017
mouvment-2	0.264	0.001	0.075	0.136	0.156	0.016	0.017
cell sed-1	0.214	0.226	0.209	0.088	0.002	0.000	0.003
cell sed-2	0.029	0.519	0.000	0.035	0.064	0.001	0.004
cell sed-3	0.136	0.117	0.324	0.019	0.080	0.002	0.000
orientatio-2	0.147	0.315	0.227	0.029	0.002	0.150	0.025
orientatio-4	0.062	0.114	0.048	0.031	0.126	0.093	0.040
orientatio-5	0.001	0.040	0.055	0.492	0.033	0.017	0.006
orientatio-6	0.178	0.161	0.273	0.017	0.033	0.031	0.008
orientatio-7	0.033	0.225	0.278	0.087	0.062	0.005	0.004
orientatio-8	0.495	0.014	0.007	0.011	0.005	0.230	0.005
situation-1	0.632	0.108	0.174	0.033	0.000	0.000	0.007
situation-2	0.632	0.108	0.174	0.033	0.000	0.000	0.007
classe-1	0.040	0.046	0.062	0.310	0.028	0.015	0.006
classe-2	0.000	0.056	0.083	0.080	0.323	0.020	0.005
classe-3	0.000	0.000	0.067	0.002	0.027	0.337	0.126
classe-4	0.022	0.163	0.074	0.024	0.030	0.298	0.022
classe-5	0.018	0.041	0.004	0.012	0.067	0.086	0.604

## Valeurs test (Variables) :

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
route-0							
chemin-0	0.694	0.425	-0.047	<b>-5.117</b>	<b>10.187</b>	-0.992	<b>8.958</b>
chemin-5	-0.694	-0.425	0.047	<b>5.117</b>	<b>-10.187</b>	0.992	<b>-8.958</b>
morphology-1	<b>11.417</b>	<b>10.272</b>	-0.174	<b>3.722</b>	<b>2.468</b>	-0.837	-0.832
morphology-2	<b>-11.417</b>	<b>-10.272</b>	0.174	<b>-3.722</b>	<b>-2.468</b>	0.837	0.832
mouvment-1	<b>-9.693</b>	0.503	<b>5.162</b>	<b>-6.962</b>	<b>7.443</b>	<b>2.364</b>	<b>-2.474</b>
mouvment-2	<b>9.693</b>	-0.503	<b>-5.162</b>	<b>6.962</b>	<b>-7.443</b>	<b>-2.364</b>	<b>2.474</b>
cell sed-1	<b>8.727</b>	<b>8.960</b>	<b>-8.632</b>	<b>-5.606</b>	-0.782	-0.082	0.978
cell sed-2	<b>-3.235</b>	<b>-13.595</b>	0.277	<b>3.510</b>	<b>4.787</b>	-0.490	-1.134
cell sed-3	<b>-6.947</b>	<b>6.455</b>	<b>10.739</b>	<b>2.569</b>	<b>-5.326</b>	0.754	0.241
orientatio-2	<b>7.246</b>	<b>-10.597</b>	<b>8.992</b>	<b>-3.200</b>	0.916	<b>-7.318</b>	<b>-2.996</b>
orientatio-4	<b>4.686</b>	<b>6.364</b>	<b>-4.142</b>	<b>3.340</b>	<b>6.687</b>	<b>-5.753</b>	<b>-3.778</b>
orientatio-5	-0.582	<b>3.772</b>	<b>-4.444</b>	<b>-13.237</b>	<b>-3.430</b>	<b>-2.468</b>	-1.470
orientatio-6	<b>-7.960</b>	<b>-7.566</b>	<b>-9.851</b>	<b>2.475</b>	<b>3.436</b>	<b>3.307</b>	1.651
orientatio-7	<b>-3.428</b>	<b>8.955</b>	<b>9.952</b>	<b>5.577</b>	<b>-4.685</b>	-1.383	1.213
orientatio-8	<b>13.279</b>	<b>2.256</b>	1.576	<b>-1.985</b>	-1.348	<b>9.042</b>	1.330
situation-1	<b>15.005</b>	<b>-6.214</b>	<b>7.879</b>	<b>-3.414</b>	0.228	-0.010	-1.611
situation-2	<b>-15.005</b>	<b>6.214</b>	<b>-7.879</b>	<b>3.414</b>	-0.228	0.010	1.611
classe-1	<b>-3.762</b>	<b>4.031</b>	<b>4.690</b>	<b>-10.499</b>	<b>-3.182</b>	<b>2.289</b>	1.449
classe-2	0.237	<b>4.462</b>	<b>5.432</b>	<b>5.323</b>	<b>10.721</b>	<b>2.674</b>	1.382
classe-3	-0.252	-0.139	<b>-4.896</b>	0.802	<b>-3.100</b>	<b>-10.960</b>	<b>-6.692</b>
classe-4	<b>2.782</b>	<b>-7.619</b>	<b>-5.134</b>	<b>2.900</b>	<b>-3.291</b>	<b>10.294</b>	<b>-2.769</b>
classe-5	<b>2.531</b>	<b>-3.834</b>	-1.244	<b>2.049</b>	<b>-4.892</b>	<b>-5.535</b>	<b>14.660</b>

Les valeurs affichées en gras sont significatives au seuil  $\alpha=0.05$

## La baie de Quiberon – 1985 – 2004

Coordonnées standard (Variables) :

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
route-0	0.015	0.136	-0.413	0.399	0.054	0.028	-0.038	0.061	-0.049	0.164
route-4	-0.136	-1.233	3.737	-3.610	-0.486	-0.256	0.348	-0.549	0.442	-1.488
chemin-0	0.056	0.320	-0.699	-0.063	-0.001	0.125	-0.236	-0.306	-0.084	-0.175
chemin-5	-0.214	-1.211	2.650	0.240	0.003	-0.474	0.893	1.161	0.318	0.662
mouv-1	1.481	0.065	-0.016	-0.266	-0.001	-0.226	-0.068	-0.062	0.019	-0.038
mouv-2	-1.452	-0.064	0.016	0.261	0.001	0.221	0.067	0.061	-0.019	0.037
morpho-1	-1.996	-0.673	-0.259	-0.092	0.477	0.006	0.253	-0.132	0.042	0.108
morpho-2	1.390	-0.709	0.144	0.278	0.080	-0.119	-0.356	0.035	0.133	-0.139
morpho-4	0.249	3.636	0.795	-0.158	-0.168	0.357	0.283	-0.487	-0.563	0.155
morpho-5	0.721	0.045	-6.989	-5.085	-12.380	-0.150	2.344	7.345	0.758	0.211
sed cell-1	-1.515	-0.677	-0.418	0.083	0.240	-0.007	-0.036	-0.101	0.100	0.200
sed cell-2	1.783	-1.187	0.055	0.111	0.280	0.572	0.002	0.478	0.117	-0.518
sed cell-3	0.681	2.396	0.649	-0.258	-0.701	-0.591	0.058	-0.334	-0.292	0.208
classe-1	-0.819	0.004	1.085	0.878	-3.622	0.603	-0.555	-0.145	0.874	-0.930
classe-2	-0.524	0.161	-1.054	-1.496	0.756	2.019	0.924	0.443	0.190	0.855
classe-3	-0.180	0.413	-0.266	0.935	1.013	-2.452	-0.294	-0.030	-1.733	0.034
classe-4	1.286	-0.530	1.555	-0.955	0.988	0.066	-2.145	0.486	2.017	-0.715
classe-5	2.736	-1.538	-1.149	2.780	-0.174	0.192	4.778	-3.119	-0.537	0.481
orientatio-1	1.997	1.840	2.719	3.617	4.255	1.453	15.417	8.342	8.667	5.856
orientatio-2	-1.357	-0.225	3.092	-2.131	-0.850	-2.249	2.421	-2.080	-1.503	-0.194
orientatio-3	0.186	1.181	-0.099	-1.540	0.352	1.937	-1.221	-1.200	0.678	1.331
orientatio-4	0.292	0.102	-1.137	-1.714	0.781	-0.075	0.868	4.034	-3.135	-3.765
orientatio-5	0.748	-0.748	-2.050	-0.312	-2.661	-3.143	0.533	-0.892	1.110	2.168
orientatio-6	0.386	-0.877	0.407	1.696	0.505	1.420	-0.284	-0.923	-1.582	0.403
orientatio-7	-0.956	0.105	0.172	1.825	0.712	-1.795	-2.668	2.777	2.906	0.473
orientatio-8	-1.115	0.634	-1.718	4.027	-0.825	1.768	2.897	-4.420	5.594	-11.126
situation-0	-0.319	-2.445	9.781	13.395	-13.793	13.898	-3.916	8.718	-13.273	5.513
situation-1	-0.180	1.857	0.509	0.723	0.249	-0.119	0.249	0.492	0.269	-0.313
situation-2	0.104	-1.030	-0.362	-0.510	-0.036	-0.039	-0.111	-0.345	-0.050	0.135

Contributions (Variables) :

	Poids	Poids (relatif)	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
route-0	371	0.113	0.000	0.002	0.019	0.018	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003
route-4	41	0.012	0.000	0.019	0.174	0.162	0.003	0.001	0.002	0.004	0.002	0.028
chemin-0	326	0.099	0.000	0.010	0.048	0.000	0.000	0.002	0.005	0.009	0.001	0.003
chemin-5	86	0.026	0.001	0.038	0.183	0.002	0.000	0.006	0.021	0.035	0.003	0.011
mouv-1	204	0.062	0.136	0.000	0.000	0.004	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000
mouv-2	208	0.063	0.133	0.000	0.000	0.004	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000
morpho-1	146	0.044	0.177	0.020	0.003	0.000	0.010	0.000	0.003	0.001	0.000	0.001
morpho-2	195	0.059	0.114	0.030	0.001	0.005	0.000	0.001	0.007	0.000	0.001	0.001
morpho-4	65	0.020	0.001	0.261	0.012	0.000	0.001	0.003	0.002	0.005	0.006	0.000
morpho-5	6	0.002	0.001	0.000	0.089	0.047	0.279	0.000	0.010	0.098	0.001	0.000
sed cell-1	186	0.056	0.129	0.026	0.010	0.000	0.003	0.000	0.000	0.001	0.001	0.002
sed cell-2	116	0.035	0.112	0.050	0.000	0.000	0.003	0.012	0.000	0.008	0.000	0.009
sed cell-3	110	0.033	0.015	0.192	0.014	0.002	0.016	0.012	0.000	0.004	0.003	0.001
classe-1	77	0.023	0.016	0.000	0.028	0.018	0.307	0.008	0.007	0.000	0.018	0.020
classe-2	122	0.037	0.010	0.001	0.041	0.083	0.021	0.151	0.032	0.007	0.001	0.027
classe-3	123	0.037	0.001	0.006	0.003	0.033	0.038	0.224	0.003	0.000	0.112	0.000
classe-4	67	0.020	0.034	0.006	0.049	0.019	0.020	0.000	0.094	0.005	0.083	0.010
classe-5	23	0.007	0.052	0.016	0.009	0.054	0.000	0.000	0.159	0.068	0.002	0.002
orientatio-1	5	0.002	0.006	0.005	0.011	0.020	0.027	0.003	0.361	0.106	0.114	0.052
orientatio-2	42	0.013	0.023	0.001	0.122	0.058	0.009	0.064	0.075	0.055	0.029	0.000
orientatio-3	94	0.029	0.001	0.040	0.000	0.068	0.004	0.107	0.043	0.041	0.013	0.050
orientatio-4	51	0.015	0.001	0.000	0.020	0.045	0.009	0.000	0.012	0.252	0.152	0.219
orientatio-5	52	0.016	0.009	0.009	0.066	0.002	0.112	0.156	0.004	0.013	0.019	0.074
orientatio-6	103	0.031	0.005	0.024	0.005	0.090	0.008	0.063	0.003	0.027	0.078	0.005
orientatio-7	53	0.016	0.015	0.000	0.000	0.054	0.008	0.052	0.114	0.124	0.136	0.004
orientatio-8	12	0.004	0.005	0.001	0.011	0.059	0.002	0.011	0.031	0.071	0.114	0.451
situation-0	2	0.001	0.000	0.004	0.058	0.109	0.115	0.117	0.009	0.046	0.107	0.018
situation-1	148	0.045	0.001	0.155	0.012	0.023	0.003	0.001	0.003	0.011	0.003	0.004
situation-2	262	0.079	0.001	0.084	0.010	0.021	0.000	0.000	0.001	0.009	0.000	0.001

Cosinus carrés (Variables) :

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
route-0	0.001	0.052	0.266	0.232	0.004	0.001	0.002	0.004	0.003	0.031
route-4	0.001	0.052	0.266	0.232	0.004	0.001	0.002	0.004	0.003	0.031
chemin-0	0.004	0.121	0.319	0.002	0.000	0.008	0.028	0.047	0.003	0.015
chemin-5	0.004	0.121	0.319	0.002	0.000	0.008	0.028	0.047	0.003	0.015
mouv-1	0.741	0.001	0.000	0.011	0.000	0.007	0.001	0.001	0.000	0.000
mouv-2	0.741	0.001	0.000	0.011	0.000	0.007	0.001	0.001	0.000	0.000
morpho-1	0.754	0.078	0.006	0.001	0.019	0.000	0.005	0.001	0.000	0.001
morpho-2	0.598	0.141	0.003	0.011	0.001	0.002	0.015	0.000	0.002	0.002
morpho-4	0.004	0.772	0.020	0.001	0.001	0.003	0.002	0.006	0.008	0.001
morpho-5	0.003	0.000	0.124	0.062	0.339	0.000	0.011	0.105	0.001	0.000
sed cell-1	0.651	0.117	0.025	0.001	0.007	0.000	0.000	0.001	0.001	0.004
sed cell-2	0.430	0.172	0.000	0.001	0.005	0.018	0.000	0.012	0.001	0.013
sed cell-3	0.058	0.652	0.026	0.004	0.027	0.018	0.000	0.005	0.004	0.002
classe-1	0.053	0.000	0.047	0.029	0.451	0.012	0.010	0.001	0.022	0.025
classe-2	0.040	0.003	0.081	0.152	0.036	0.245	0.048	0.011	0.002	0.039
classe-3	0.005	0.023	0.005	0.060	0.065	0.365	0.005	0.000	0.162	0.000
classe-4	0.111	0.017	0.081	0.029	0.028	0.000	0.120	0.006	0.100	0.013
classe-5	0.153	0.044	0.013	0.074	0.000	0.000	0.181	0.076	0.002	0.002
orientatio-1	0.017	0.013	0.016	0.026	0.033	0.004	0.392	0.112	0.117	0.053
orientatio-2	0.072	0.002	0.187	0.083	0.012	0.082	0.089	0.064	0.033	0.001
orientatio-3	0.004	0.129	0.000	0.113	0.005	0.158	0.059	0.056	0.017	0.066
orientatio-4	0.004	0.000	0.031	0.067	0.013	0.000	0.014	0.302	0.176	0.252
orientatio-5	0.028	0.025	0.105	0.002	0.153	0.204	0.006	0.015	0.023	0.085
orientatio-6	0.017	0.080	0.010	0.154	0.013	0.096	0.004	0.037	0.106	0.007
orientatio-7	0.046	0.001	0.001	0.079	0.011	0.068	0.141	0.149	0.158	0.004
orientatio-8	0.013	0.004	0.015	0.078	0.003	0.013	0.034	0.077	0.119	0.467
situation-0	0.000	0.009	0.080	0.141	0.139	0.134	0.010	0.049	0.109	0.019
situation-1	0.006	0.603	0.025	0.047	0.005	0.001	0.005	0.018	0.005	0.007
situation-2	0.007	0.578	0.040	0.073	0.000	0.000	0.003	0.027	0.001	0.004

Valeurs test (Variables) :

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
route-0	0.538	<b>4.639</b>	<b>-10.457</b>	<b>9.760</b>	1.266	0.651	-0.860	1.341	-1.062	<b>3.558</b>
route-4	-0.538	<b>-4.639</b>	<b>10.457</b>	<b>-9.760</b>	-1.266	-0.651	0.860	-1.341	1.062	<b>-3.558</b>
chemin-0	1.309	<b>7.042</b>	<b>-11.458</b>	-1.004	-0.011	1.863	<b>-3.407</b>	<b>-4.381</b>	-1.181	<b>-2.444</b>
chemin-5	-1.309	<b>-7.042</b>	<b>11.458</b>	1.004	0.011	-1.863	<b>3.407</b>	<b>4.381</b>	1.181	<b>2.444</b>
mouv-1	<b>17.456</b>	0.733	-0.136	<b>-2.141</b>	-0.006	-1.710	-0.503	-0.454	0.138	-0.270
mouv-2	<b>-17.456</b>	-0.733	0.136	<b>2.141</b>	0.006	1.710	0.503	0.454	-0.138	0.270
morpho-1	<b>-17.606</b>	<b>-5.646</b>	-1.614	-0.553	<b>2.772</b>	0.032	1.394	-0.716	0.226	0.574
morpho-2	<b>15.681</b>	<b>-7.609</b>	1.147	<b>2.143</b>	0.594	-0.863	<b>-2.507</b>	0.243	0.910	-0.946
morpho-4	1.282	<b>17.810</b>	<b>2.898</b>	-0.558	-0.572	1.185	0.909	-1.548	-1.761	0.482
morpho-5	1.043	0.062	<b>-7.152</b>	<b>-5.028</b>	<b>-11.803</b>	-0.139	<b>2.117</b>	<b>6.559</b>	0.666	0.184
sed cell-1	<b>-16.357</b>	<b>-6.948</b>	<b>-3.193</b>	0.614	1.707	-0.047	-0.240	-0.671	0.653	1.307
sed cell-2	<b>13.288</b>	<b>-8.410</b>	0.290	0.566	1.376	<b>2.741</b>	0.011	<b>2.200</b>	0.528	<b>-2.334</b>
sed cell-3	<b>4.891</b>	<b>16.365</b>	<b>3.297</b>	-1.267	<b>-3.319</b>	<b>-2.733</b>	0.260	-1.482	-1.272	<b>0.903</b>
classe-1	<b>-4.673</b>	0.023	<b>4.380</b>	<b>3.424</b>	<b>-13.620</b>	<b>2.214</b>	<b>-1.978</b>	-0.511	<b>3.027</b>	<b>-3.206</b>
classe-2	<b>-4.043</b>	1.185	<b>-5.753</b>	<b>-7.892</b>	<b>3.844</b>	<b>10.028</b>	<b>4.455</b>	<b>2.112</b>	0.889	<b>3.989</b>
classe-3	-1.398	<b>3.052</b>	-1.463	<b>4.959</b>	<b>5.181</b>	<b>-12.249</b>	-1.426	-0.144	<b>-8.171</b>	0.158
classe-4	<b>6.744</b>	<b>-2.642</b>	<b>5.768</b>	<b>-3.424</b>	<b>3.414</b>	0.222	<b>-7.023</b>	1.572	<b>6.421</b>	<b>-2.268</b>
classe-5	<b>7.921</b>	<b>-4.232</b>	<b>-2.353</b>	<b>5.498</b>	-0.332	0.357	<b>8.631</b>	<b>-5.572</b>	-0.943	0.842
orientatio-1	<b>2.635</b>	<b>2.309</b>	<b>2.537</b>	<b>3.260</b>	<b>3.699</b>	1.233	<b>12.695</b>	<b>6.792</b>	<b>6.942</b>	<b>4.669</b>
orientatio-2	<b>-5.442</b>	-0.858	<b>8.768</b>	<b>-5.839</b>	<b>-2.246</b>	<b>-5.801</b>	<b>6.059</b>	<b>-5.148</b>	<b>-3.660</b>	-0.469
orientatio-3	1.205	<b>7.270</b>	-0.451	<b>-6.809</b>	1.503	<b>8.064</b>	<b>-4.933</b>	<b>-4.794</b>	<b>2.666</b>	<b>5.203</b>
orientatio-4	1.307	0.434	<b>-3.596</b>	<b>-5.238</b>	<b>2.301</b>	-0.215	<b>2.424</b>	<b>11.139</b>	<b>-8.515</b>	<b>-10.177</b>
orientatio-5	<b>3.383</b>	<b>-3.216</b>	<b>-6.558</b>	-0.965	<b>-7.932</b>	<b>-9.146</b>	1.504	<b>-2.489</b>	<b>3.047</b>	<b>5.926</b>
orientatio-6	<b>2.653</b>	<b>-5.730</b>	<b>1.977</b>	<b>7.966</b>	<b>2.289</b>	<b>6.277</b>	-1.220	<b>-3.913</b>	<b>-6.598</b>	1.674
orientatio-7	<b>-4.371</b>	0.457	0.557	<b>5.703</b>	<b>2.144</b>	<b>-5.281</b>	<b>-7.615</b>	<b>7.838</b>	<b>8.068</b>	1.306
orientatio-8	<b>-2.300</b>	1.243	<b>-2.504</b>	<b>5.673</b>	-1.121	<b>2.345</b>	<b>3.727</b>	<b>-5.624</b>	<b>7.001</b>	<b>-13.862</b>
situation-0	-0.265	-1.933	<b>5.750</b>	<b>7.608</b>	<b>-7.555</b>	<b>7.432</b>	<b>-2.032</b>	<b>4.473</b>	<b>-6.698</b>	<b>2.770</b>
situation-1	-1.605	<b>15.739</b>	<b>3.211</b>	<b>4.400</b>	1.465	-0.684	1.384	<b>2.708</b>	1.453	-1.687
situation-2	1.638	<b>-15.414</b>	<b>-4.032</b>	<b>-5.486</b>	-0.369	-0.391	-1.086	<b>-3.347</b>	-0.481	1.282

Les valeurs affichées en gras sont significatives au seuil alpha=0.05

## La Presqu'île de Rhuys – 1952 – 2004

Coordonnées standard (Variables) :

	F1	F2	F3	F4	F5	F6
route-0	-0.663	0.907	-0.050	-0.077	-0.337	1.267
route-4	0.754	-1.031	0.057	0.088	0.383	-1.441
chemin-0	0.248	-1.549	1.089	-0.536	0.441	0.596
chemin-5	-0.181	1.131	-0.795	0.391	-0.322	-0.435
mouvement-1	-0.512	-1.180	-0.038	0.797	-1.176	-0.133
mouvement-2	0.374	0.861	0.027	-0.582	0.859	0.097
morphology-1	5.459	3.117	1.357	2.234	1.317	1.547
morphology-2	-0.310	-0.074	-0.159	-0.352	-0.117	-0.054
morphology-5	-0.746	-5.590	3.955	11.084	1.980	-1.936
sec cell-1	3.522	0.714	0.412	-0.115	-0.554	-0.470
sec cell-2	-0.494	-0.795	-0.403	0.011	0.234	0.284
sec cell-3	-1.896	2.831	1.376	0.086	-0.425	-0.755
classe-1	-0.497	0.237	1.639	-1.479	2.146	-2.177
classe-2	0.179	-0.695	1.628	-1.435	-2.548	2.496
classe-3	0.306	0.671	0.240	2.968	0.337	0.874
classe-4	0.090	-0.678	-2.593	-0.919	1.759	0.794
classe-5	-0.215	0.439	-2.429	0.245	-4.187	-3.939
orientation-4	0.537	-0.364	-1.792	0.105	0.418	0.588
orientation-5	-0.933	0.361	1.172	0.160	0.065	-0.292
orientation-6	3.695	-0.571	1.510	-1.719	-2.760	-1.155

Contributions (Variables) :

	Poids	Poids (relatif)	F1	F2	F3	F4	F5	F6
route-0	58	0.076	0.033	0.063	0.000	0.000	0.009	0.122
route-4	51	0.067	0.038	0.071	0.000	0.001	0.010	0.139
chemin-0	46	0.060	0.004	0.145	0.072	0.017	0.012	0.021
chemin-5	63	0.083	0.003	0.106	0.052	0.013	0.009	0.016
mouvement-1	46	0.060	0.016	0.084	0.000	0.038	0.083	0.001
mouvement-2	63	0.083	0.012	0.061	0.000	0.028	0.061	0.001
morphology-1	6	0.008	0.234	0.076	0.014	0.039	0.014	0.019
morphology-2	101	0.132	0.013	0.001	0.003	0.016	0.002	0.000
morphology-5	2	0.003	0.001	0.082	0.041	0.322	0.010	0.010
sec cell-1	19	0.025	0.309	0.013	0.004	0.000	0.008	0.006
sec cell-2	74	0.097	0.024	0.061	0.016	0.000	0.005	0.008
sec cell-3	16	0.021	0.075	0.168	0.040	0.000	0.004	0.012
classe-1	25	0.033	0.008	0.002	0.088	0.072	0.151	0.155
classe-2	22	0.029	0.001	0.014	0.076	0.059	0.187	0.180
classe-3	29	0.038	0.004	0.017	0.002	0.335	0.004	0.029
classe-4	22	0.029	0.000	0.013	0.194	0.024	0.089	0.018
classe-5	11	0.014	0.001	0.003	0.085	0.001	0.253	0.224
orientation-4	44	0.058	0.017	0.008	0.185	0.001	0.010	0.020
orientation-5	57	0.075	0.065	0.010	0.103	0.002	0.000	0.006
orientation-6	8	0.010	0.143	0.003	0.024	0.031	0.080	0.014



## Cosinus carrés (Variables) :

	F1	F2	F3	F4	F5	F6
route-0	0.132	0.218	0.001	0.001	0.021	0.276
route-4	0.132	0.218	0.001	0.001	0.021	0.276
chemin-0	0.012	0.408	0.190	0.039	0.023	0.039
chemin-5	0.012	0.408	0.190	0.039	0.023	0.039
mouvement-1	0.051	0.237	0.000	0.087	0.165	0.002
mouvement-2	0.051	0.237	0.000	0.087	0.165	0.002
morphology-1	0.458	0.132	0.024	0.055	0.016	0.021
morphology-2	0.319	0.016	0.070	0.294	0.028	0.005
morphology-5	0.003	0.136	0.064	0.431	0.012	0.011
sec cell-1	0.691	0.025	0.008	0.001	0.011	0.007
sec cell-2	0.136	0.312	0.075	0.000	0.019	0.026
sec cell-3	0.163	0.321	0.071	0.000	0.005	0.015
classe-1	0.019	0.004	0.175	0.122	0.224	0.213
classe-2	0.002	0.028	0.147	0.098	0.268	0.238
classe-3	0.009	0.038	0.005	0.600	0.007	0.042
classe-4	0.001	0.027	0.373	0.040	0.128	0.024
classe-5	0.001	0.005	0.145	0.001	0.321	0.263
orientation-4	0.051	0.021	0.477	0.001	0.019	0.035
orientation-5	0.252	0.033	0.330	0.005	0.001	0.014
orientation-6	0.286	0.006	0.040	0.044	0.099	0.016

## Valeurs test (Variables) :

	F1	F2	F3	F4	F5	F6
route-0	<b>-3.777</b>	<b>4.851</b>	-0.260	-0.372	-1.508	<b>5.456</b>
route-4	<b>3.777</b>	<b>-4.851</b>	0.260	0.372	1.508	<b>-5.456</b>
chemin-0	1.130	<b>-6.640</b>	<b>4.529</b>	<b>-2.063</b>	1.583	<b>2.058</b>
chemin-5	-1.130	<b>6.640</b>	<b>-4.529</b>	<b>2.063</b>	-1.583	<b>-2.058</b>
mouvement-1	<b>-2.338</b>	<b>-5.057</b>	-0.156	<b>3.068</b>	<b>-4.220</b>	-0.460
mouvement-2	<b>2.338</b>	<b>5.057</b>	0.156	<b>-3.068</b>	<b>4.220</b>	0.460
morphology-1	<b>7.035</b>	<b>3.773</b>	1.594	<b>2.428</b>	1.335	1.508
morphology-2	<b>-5.872</b>	-1.327	<b>-2.749</b>	<b>-5.636</b>	-1.752	-0.768
morphology-5	-0.544	<b>-3.833</b>	<b>2.632</b>	<b>6.825</b>	1.137	-1.069
sec cell-1	<b>8.640</b>	1.646	0.921	-0.238	-1.068	-0.873
sec cell-2	<b>-3.838</b>	<b>-5.801</b>	<b>-2.854</b>	0.071	1.430	1.668
sec cell-3	<b>-4.198</b>	<b>5.889</b>	<b>2.778</b>	0.161	-0.741	-1.265
classe-1	-1.448	0.649	<b>4.352</b>	<b>-3.633</b>	<b>4.916</b>	<b>-4.796</b>
classe-2	0.480	-1.752	<b>3.984</b>	<b>-3.251</b>	<b>-5.380</b>	<b>5.070</b>
classe-3	0.982	<b>2.025</b>	0.704	<b>8.048</b>	0.851	<b>2.125</b>
classe-4	0.243	-1.710	<b>-6.345</b>	<b>-2.081</b>	<b>3.715</b>	1.614
classe-5	-0.384	0.737	<b>-3.960</b>	0.370	<b>-5.891</b>	<b>-5.330</b>
orientation-4	<b>2.357</b>	-1.501	<b>-7.177</b>	0.389	1.444	1.953
orientation-5	<b>-5.215</b>	1.896	<b>5.970</b>	0.755	0.285	-1.233
orientation-6	<b>5.553</b>	-0.807	<b>2.069</b>	<b>-2.179</b>	<b>-3.262</b>	-1.313

Les valeurs affichées en gras sont significatives au seuil  $\alpha=0.05$



## La Presqu'île de Rhuys – 1952 – 1985

Coordonnées standard (Variables) :

	F1	F2	F3	F4	F5	F6
route-0	-0.663	0.907	-0.050	-0.077	-0.337	1.267
route-4	0.754	-1.031	0.057	0.088	0.383	-1.441
chemin-0	0.248	-1.549	1.089	-0.536	0.441	0.596
chemin-5	-0.181	1.131	-0.795	0.391	-0.322	-0.435
mouvement-1	-0.512	-1.180	-0.038	0.797	-1.176	-0.133
mouvement-2	0.374	0.861	0.027	-0.582	0.859	0.097
morphology-1	5.459	3.117	1.357	2.234	1.317	1.547
morphology-2	-0.310	-0.074	-0.159	-0.352	-0.117	-0.054
morphology-5	-0.746	-5.590	3.955	11.084	1.980	-1.936
sec cell-1	3.522	0.714	0.412	-0.115	-0.554	-0.470
sec cell-2	-0.494	-0.795	-0.403	0.011	0.234	0.284
sec cell-3	-1.896	2.831	1.376	0.086	-0.425	-0.755
classe-1	-0.497	0.237	1.639	-1.479	2.146	-2.177
classe-2	0.179	-0.695	1.628	-1.435	-2.548	2.496
classe-3	0.306	0.671	0.240	2.968	0.337	0.874
classe-4	0.090	-0.678	-2.593	-0.919	1.759	0.794
classe-5	-0.215	0.439	-2.429	0.245	-4.187	-3.939
orientation-4	0.537	-0.364	-1.792	0.105	0.418	0.588
orientation-5	-0.933	0.361	1.172	0.160	0.065	-0.292
orientation-6	3.695	-0.571	1.510	-1.719	-2.760	-1.155

Contributions (Variables) :

	Poids	Poids (relatif)	F1	F2	F3	F4	F5	F6
route-0	58	0.076	0.033	0.063	0.000	0.000	0.009	0.122
route-4	51	0.067	0.038	0.071	0.000	0.001	0.010	0.139
chemin-0	46	0.060	0.004	0.145	0.072	0.017	0.012	0.021
chemin-5	63	0.083	0.003	0.106	0.052	0.013	0.009	0.016
mouvement-1	46	0.060	0.016	0.084	0.000	0.038	0.083	0.001
mouvement-2	63	0.083	0.012	0.061	0.000	0.028	0.061	0.001
morphology-1	6	0.008	0.234	0.076	0.014	0.039	0.014	0.019
morphology-2	101	0.132	0.013	0.001	0.003	0.016	0.002	0.000
morphology-5	2	0.003	0.001	0.082	0.041	0.322	0.010	0.010
sec cell-1	19	0.025	0.309	0.013	0.004	0.000	0.008	0.006
sec cell-2	74	0.097	0.024	0.061	0.016	0.000	0.005	0.008
sec cell-3	16	0.021	0.075	0.168	0.040	0.000	0.004	0.012
classe-1	25	0.033	0.008	0.002	0.088	0.072	0.151	0.155
classe-2	22	0.029	0.001	0.014	0.076	0.059	0.187	0.180
classe-3	29	0.038	0.004	0.017	0.002	0.335	0.004	0.029
classe-4	22	0.029	0.000	0.013	0.194	0.024	0.089	0.018
classe-5	11	0.014	0.001	0.003	0.085	0.001	0.253	0.224
orientation-4	44	0.058	0.017	0.008	0.185	0.001	0.010	0.020
orientation-5	57	0.075	0.065	0.010	0.103	0.002	0.000	0.006
orientation-6	8	0.010	0.143	0.003	0.024	0.031	0.080	0.014

## Cosinus carrés (Variables) :

	F1	F2	F3	F4	F5	F6
route-0	0.132	0.218	0.001	0.001	0.021	0.276
route-4	0.132	0.218	0.001	0.001	0.021	0.276
chemin-0	0.012	0.408	0.190	0.039	0.023	0.039
chemin-5	0.012	0.408	0.190	0.039	0.023	0.039
mouvement-1	0.051	0.237	0.000	0.087	0.165	0.002
mouvement-2	0.051	0.237	0.000	0.087	0.165	0.002
morphology-1	0.458	0.132	0.024	0.055	0.016	0.021
morphology-2	0.319	0.016	0.070	0.294	0.028	0.005
morphology-5	0.003	0.136	0.064	0.431	0.012	0.011
sec cell-1	0.691	0.025	0.008	0.001	0.011	0.007
sec cell-2	0.136	0.312	0.075	0.000	0.019	0.026
sec cell-3	0.163	0.321	0.071	0.000	0.005	0.015
classe-1	0.019	0.004	0.175	0.122	0.224	0.213
classe-2	0.002	0.028	0.147	0.098	0.268	0.238
classe-3	0.009	0.038	0.005	0.600	0.007	0.042
classe-4	0.001	0.027	0.373	0.040	0.128	0.024
classe-5	0.001	0.005	0.145	0.001	0.321	0.263
orientation-4	0.051	0.021	0.477	0.001	0.019	0.035
orientation-5	0.252	0.033	0.330	0.005	0.001	0.014
orientation-6	0.286	0.006	0.040	0.044	0.099	0.016

## Valeurs test (Variables) :

	F1	F2	F3	F4	F5	F6
route-0	<b>-3.777</b>	<b>4.851</b>	-0.260	-0.372	-1.508	<b>5.456</b>
route-4	<b>3.777</b>	<b>-4.851</b>	0.260	0.372	1.508	<b>-5.456</b>
chemin-0	1.130	<b>-6.640</b>	<b>4.529</b>	<b>-2.063</b>	1.583	<b>2.058</b>
chemin-5	-1.130	<b>6.640</b>	<b>-4.529</b>	<b>2.063</b>	-1.583	<b>-2.058</b>
mouvement-1	<b>-2.338</b>	<b>-5.057</b>	-0.156	<b>3.068</b>	<b>-4.220</b>	-0.460
mouvement-2	<b>2.338</b>	<b>5.057</b>	0.156	<b>-3.068</b>	<b>4.220</b>	0.460
morphology-1	<b>7.035</b>	<b>3.773</b>	1.594	<b>2.428</b>	1.335	1.508
morphology-2	<b>-5.872</b>	-1.327	<b>-2.749</b>	<b>-5.636</b>	-1.752	-0.768
morphology-5	-0.544	<b>-3.833</b>	<b>2.632</b>	<b>6.825</b>	1.137	-1.069
sec cell-1	<b>8.640</b>	1.646	0.921	-0.238	-1.068	-0.873
sec cell-2	<b>-3.838</b>	<b>-5.801</b>	<b>-2.854</b>	0.071	1.430	1.668
sec cell-3	<b>-4.198</b>	<b>5.889</b>	<b>2.778</b>	0.161	-0.741	-1.265
classe-1	-1.448	0.649	<b>4.352</b>	<b>-3.633</b>	<b>4.916</b>	<b>-4.796</b>
classe-2	0.480	-1.752	<b>3.984</b>	<b>-3.251</b>	<b>-5.380</b>	<b>5.070</b>
classe-3	0.982	<b>2.025</b>	0.704	<b>8.048</b>	0.851	<b>2.125</b>
classe-4	0.243	-1.710	<b>-6.345</b>	<b>-2.081</b>	<b>3.715</b>	1.614
classe-5	-0.384	0.737	<b>-3.960</b>	0.370	<b>-5.891</b>	<b>-5.330</b>
orientation-4	<b>2.357</b>	-1.501	<b>-7.177</b>	0.389	1.444	1.953
orientation-5	<b>-5.215</b>	1.896	<b>5.970</b>	0.755	0.285	-1.233
orientation-6	<b>5.553</b>	-0.807	<b>2.069</b>	<b>-2.179</b>	<b>-3.262</b>	-1.313

Les valeurs affichées en gras sont significatives au seuil  $\alpha=0.05$

## La Presqu'île de Rhuys – 1985 – 1999

Coordonnées standard (Variables) :

	F1	F2	F3	F4	F5	F6
route-0	-0.663	0.907	-0.050	-0.077	-0.337	1.267
route-4	0.754	-1.031	0.057	0.088	0.383	-1.441
chemin-0	0.248	-1.549	1.089	-0.536	0.441	0.596
chemin-5	-0.181	1.131	-0.795	0.391	-0.322	-0.435
mouvement-1	-0.512	-1.180	-0.038	0.797	-1.176	-0.133
mouvement-2	0.374	0.861	0.027	-0.582	0.859	0.097
morphology-1	5.459	3.117	1.357	2.234	1.317	1.547
morphology-2	-0.310	-0.074	-0.159	-0.352	-0.117	-0.054
morphology-5	-0.746	-5.590	3.955	11.084	1.980	-1.936
sec cell-1	3.522	0.714	0.412	-0.115	-0.554	-0.470
sec cell-2	-0.494	-0.795	-0.403	0.011	0.234	0.284
sec cell-3	-1.896	2.831	1.376	0.086	-0.425	-0.755
classe-1	-0.497	0.237	1.639	-1.479	2.146	-2.177
classe-2	0.179	-0.695	1.628	-1.435	-2.548	2.496
classe-3	0.306	0.671	0.240	2.968	0.337	0.874
classe-4	0.090	-0.678	-2.593	-0.919	1.759	0.794
classe-5	-0.215	0.439	-2.429	0.245	-4.187	-3.939
orientation-4	0.537	-0.364	-1.792	0.105	0.418	0.588
orientation-5	-0.933	0.361	1.172	0.160	0.065	-0.292
orientation-6	3.695	-0.571	1.510	-1.719	-2.760	-1.155

Contributions (Variables) :

	Poids	Poids (relatif)	F1	F2	F3	F4	F5	F6
route-0	58	0.076	0.033	0.063	0.000	0.000	0.009	0.122
route-4	51	0.067	0.038	0.071	0.000	0.001	0.010	0.139
chemin-0	46	0.060	0.004	0.145	0.072	0.017	0.012	0.021
chemin-5	63	0.083	0.003	0.106	0.052	0.013	0.009	0.016
mouvement-1	46	0.060	0.016	0.084	0.000	0.038	0.083	0.001
mouvement-2	63	0.083	0.012	0.061	0.000	0.028	0.061	0.001
morphology-1	6	0.008	0.234	0.076	0.014	0.039	0.014	0.019
morphology-2	101	0.132	0.013	0.001	0.003	0.016	0.002	0.000
morphology-5	2	0.003	0.001	0.082	0.041	0.322	0.010	0.010
sec cell-1	19	0.025	0.309	0.013	0.004	0.000	0.008	0.006
sec cell-2	74	0.097	0.024	0.061	0.016	0.000	0.005	0.008
sec cell-3	16	0.021	0.075	0.168	0.040	0.000	0.004	0.012
classe-1	25	0.033	0.008	0.002	0.088	0.072	0.151	0.155
classe-2	22	0.029	0.001	0.014	0.076	0.059	0.187	0.180
classe-3	29	0.038	0.004	0.017	0.002	0.335	0.004	0.029
classe-4	22	0.029	0.000	0.013	0.194	0.024	0.089	0.018
classe-5	11	0.014	0.001	0.003	0.085	0.001	0.253	0.224
orientation-4	44	0.058	0.017	0.008	0.185	0.001	0.010	0.020
orientation-5	57	0.075	0.065	0.010	0.103	0.002	0.000	0.006
orientation-6	8	0.010	0.143	0.003	0.024	0.031	0.080	0.014

## Cosinus carrés (Variables) :

	F1	F2	F3	F4	F5	F6
route-0	0.132	0.218	0.001	0.001	0.021	0.276
route-4	0.132	0.218	0.001	0.001	0.021	0.276
chemin-0	0.012	0.408	0.190	0.039	0.023	0.039
chemin-5	0.012	0.408	0.190	0.039	0.023	0.039
mouvement-1	0.051	0.237	0.000	0.087	0.165	0.002
mouvement-2	0.051	0.237	0.000	0.087	0.165	0.002
morphology-1	0.458	0.132	0.024	0.055	0.016	0.021
morphology-2	0.319	0.016	0.070	0.294	0.028	0.005
morphology-5	0.003	0.136	0.064	0.431	0.012	0.011
sec cell-1	0.691	0.025	0.008	0.001	0.011	0.007
sec cell-2	0.136	0.312	0.075	0.000	0.019	0.026
sec cell-3	0.163	0.321	0.071	0.000	0.005	0.015
classe-1	0.019	0.004	0.175	0.122	0.224	0.213
classe-2	0.002	0.028	0.147	0.098	0.268	0.238
classe-3	0.009	0.038	0.005	0.600	0.007	0.042
classe-4	0.001	0.027	0.373	0.040	0.128	0.024
classe-5	0.001	0.005	0.145	0.001	0.321	0.263
orientation-4	0.051	0.021	0.477	0.001	0.019	0.035
orientation-5	0.252	0.033	0.330	0.005	0.001	0.014
orientation-6	0.286	0.006	0.040	0.044	0.099	0.016

## Valeurs test (Variables) :

	F1	F2	F3	F4	F5	F6
route-0	<b>-3.777</b>	<b>4.851</b>	-0.260	-0.372	-1.508	<b>5.456</b>
route-4	<b>3.777</b>	<b>-4.851</b>	0.260	0.372	1.508	<b>-5.456</b>
chemin-0	1.130	<b>-6.640</b>	<b>4.529</b>	<b>-2.063</b>	1.583	<b>2.058</b>
chemin-5	-1.130	<b>6.640</b>	<b>-4.529</b>	<b>2.063</b>	-1.583	<b>-2.058</b>
mouvement-1	<b>-2.338</b>	<b>-5.057</b>	-0.156	<b>3.068</b>	<b>-4.220</b>	-0.460
mouvement-2	<b>2.338</b>	<b>5.057</b>	0.156	<b>-3.068</b>	<b>4.220</b>	0.460
morphology-1	<b>7.035</b>	<b>3.773</b>	1.594	<b>2.428</b>	1.335	1.508
morphology-2	<b>-5.872</b>	-1.327	<b>-2.749</b>	<b>-5.636</b>	-1.752	-0.768
morphology-5	-0.544	<b>-3.833</b>	<b>2.632</b>	<b>6.825</b>	1.137	-1.069
sec cell-1	<b>8.640</b>	1.646	0.921	-0.238	-1.068	-0.873
sec cell-2	<b>-3.838</b>	<b>-5.801</b>	<b>-2.854</b>	0.071	1.430	1.668
sec cell-3	<b>-4.198</b>	<b>5.889</b>	<b>2.778</b>	0.161	-0.741	-1.265
classe-1	-1.448	0.649	<b>4.352</b>	<b>-3.633</b>	<b>4.916</b>	<b>-4.796</b>
classe-2	0.480	-1.752	<b>3.984</b>	<b>-3.251</b>	<b>-5.380</b>	<b>5.070</b>
classe-3	0.982	<b>2.025</b>	0.704	<b>8.048</b>	0.851	<b>2.125</b>
classe-4	0.243	-1.710	<b>-6.345</b>	<b>-2.081</b>	<b>3.715</b>	1.614
classe-5	-0.384	0.737	<b>-3.960</b>	0.370	<b>-5.891</b>	<b>-5.330</b>
orientation-4	<b>2.357</b>	-1.501	<b>-7.177</b>	0.389	1.444	1.953
orientation-5	<b>-5.215</b>	1.896	<b>5.970</b>	0.755	0.285	-1.233
orientation-6	<b>5.553</b>	-0.807	<b>2.069</b>	<b>-2.179</b>	<b>-3.262</b>	-1.313

Les valeurs affichées en gras sont significatives au seuil  $\alpha=0.05$

## La Presqu'île de Rhuys – 1999 – 2004

Coordonnées standard (Variables) :

	F1	F2	F3	F4	F5	F6
route-0	-0.663	0.907	-0.050	-0.077	-0.337	1.267
route-4	0.754	-1.031	0.057	0.088	0.383	-1.441
chemin-0	0.248	-1.549	1.089	-0.536	0.441	0.596
chemin-5	-0.181	1.131	-0.795	0.391	-0.322	-0.435
mouvement-1	-0.512	-1.180	-0.038	0.797	-1.176	-0.133
mouvement-2	0.374	0.861	0.027	-0.582	0.859	0.097
morphology-1	5.459	3.117	1.357	2.234	1.317	1.547
morphology-2	-0.310	-0.074	-0.159	-0.352	-0.117	-0.054
morphology-5	-0.746	-5.590	3.955	11.084	1.980	-1.936
sec cell-1	3.522	0.714	0.412	-0.115	-0.554	-0.470
sec cell-2	-0.494	-0.795	-0.403	0.011	0.234	0.284
sec cell-3	-1.896	2.831	1.376	0.086	-0.425	-0.755
classe-1	-0.497	0.237	1.639	-1.479	2.146	-2.177
classe-2	0.179	-0.695	1.628	-1.435	-2.548	2.496
classe-3	0.306	0.671	0.240	2.968	0.337	0.874
classe-4	0.090	-0.678	-2.593	-0.919	1.759	0.794
classe-5	-0.215	0.439	-2.429	0.245	-4.187	-3.939
orientation-4	0.537	-0.364	-1.792	0.105	0.418	0.588
orientation-5	-0.933	0.361	1.172	0.160	0.065	-0.292
orientation-6	3.695	-0.571	1.510	-1.719	-2.760	-1.155

Contributions (Variables) :

	Poids	Poids (relatif)	F1	F2	F3	F4	F5	F6
route-0	58	0.076	0.033	0.063	0.000	0.000	0.009	0.122
route-4	51	0.067	0.038	0.071	0.000	0.001	0.010	0.139
chemin-0	46	0.060	0.004	0.145	0.072	0.017	0.012	0.021
chemin-5	63	0.083	0.003	0.106	0.052	0.013	0.009	0.016
mouvement-1	46	0.060	0.016	0.084	0.000	0.038	0.083	0.001
mouvement-2	63	0.083	0.012	0.061	0.000	0.028	0.061	0.001
morphology-1	6	0.008	0.234	0.076	0.014	0.039	0.014	0.019
morphology-2	101	0.132	0.013	0.001	0.003	0.016	0.002	0.000
morphology-5	2	0.003	0.001	0.082	0.041	0.322	0.010	0.010
sec cell-1	19	0.025	0.309	0.013	0.004	0.000	0.008	0.006
sec cell-2	74	0.097	0.024	0.061	0.016	0.000	0.005	0.008
sec cell-3	16	0.021	0.075	0.168	0.040	0.000	0.004	0.012
classe-1	25	0.033	0.008	0.002	0.088	0.072	0.151	0.155
classe-2	22	0.029	0.001	0.014	0.076	0.059	0.187	0.180
classe-3	29	0.038	0.004	0.017	0.002	0.335	0.004	0.029
classe-4	22	0.029	0.000	0.013	0.194	0.024	0.089	0.018
classe-5	11	0.014	0.001	0.003	0.085	0.001	0.253	0.224
orientation-4	44	0.058	0.017	0.008	0.185	0.001	0.010	0.020
orientation-5	57	0.075	0.065	0.010	0.103	0.002	0.000	0.006
orientation-6	8	0.010	0.143	0.003	0.024	0.031	0.080	0.014

## Cosinus carrés (Variables) :

	F1	F2	F3	F4	F5	F6
route-0	0.132	0.218	0.001	0.001	0.021	0.276
route-4	0.132	0.218	0.001	0.001	0.021	0.276
chemin-0	0.012	0.408	0.190	0.039	0.023	0.039
chemin-5	0.012	0.408	0.190	0.039	0.023	0.039
mouvement-1	0.051	0.237	0.000	0.087	0.165	0.002
mouvement-2	0.051	0.237	0.000	0.087	0.165	0.002
morphology-1	0.458	0.132	0.024	0.055	0.016	0.021
morphology-2	0.319	0.016	0.070	0.294	0.028	0.005
morphology-5	0.003	0.136	0.064	0.431	0.012	0.011
sec cell-1	0.691	0.025	0.008	0.001	0.011	0.007
sec cell-2	0.136	0.312	0.075	0.000	0.019	0.026
sec cell-3	0.163	0.321	0.071	0.000	0.005	0.015
classe-1	0.019	0.004	0.175	0.122	0.224	0.213
classe-2	0.002	0.028	0.147	0.098	0.268	0.238
classe-3	0.009	0.038	0.005	0.600	0.007	0.042
classe-4	0.001	0.027	0.373	0.040	0.128	0.024
classe-5	0.001	0.005	0.145	0.001	0.321	0.263
orientation-4	0.051	0.021	0.477	0.001	0.019	0.035
orientation-5	0.252	0.033	0.330	0.005	0.001	0.014
orientation-6	0.286	0.006	0.040	0.044	0.099	0.016

## Valeurs test (Variables) :

	F1	F2	F3	F4	F5	F6
route-0	<b>-3.777</b>	<b>4.851</b>	-0.260	-0.372	-1.508	<b>5.456</b>
route-4	<b>3.777</b>	<b>-4.851</b>	0.260	0.372	1.508	<b>-5.456</b>
chemin-0	1.130	<b>-6.640</b>	<b>4.529</b>	<b>-2.063</b>	1.583	<b>2.058</b>
chemin-5	-1.130	<b>6.640</b>	<b>-4.529</b>	<b>2.063</b>	-1.583	<b>-2.058</b>
mouvement-1	<b>-2.338</b>	<b>-5.057</b>	-0.156	<b>3.068</b>	<b>-4.220</b>	-0.460
mouvement-2	<b>2.338</b>	<b>5.057</b>	0.156	<b>-3.068</b>	<b>4.220</b>	0.460
morphology-1	<b>7.035</b>	<b>3.773</b>	1.594	<b>2.428</b>	1.335	1.508
morphology-2	<b>-5.872</b>	-1.327	<b>-2.749</b>	<b>-5.636</b>	-1.752	-0.768
morphology-5	-0.544	<b>-3.833</b>	<b>2.632</b>	<b>6.825</b>	1.137	-1.069
sec cell-1	<b>8.640</b>	1.646	0.921	-0.238	-1.068	-0.873
sec cell-2	<b>-3.838</b>	<b>-5.801</b>	<b>-2.854</b>	0.071	1.430	1.668
sec cell-3	<b>-4.198</b>	<b>5.889</b>	<b>2.778</b>	0.161	-0.741	-1.265
classe-1	-1.448	0.649	<b>4.352</b>	<b>-3.633</b>	<b>4.916</b>	<b>-4.796</b>
classe-2	0.480	-1.752	<b>3.984</b>	<b>-3.251</b>	<b>-5.380</b>	<b>5.070</b>
classe-3	0.982	<b>2.025</b>	0.704	<b>8.048</b>	0.851	<b>2.125</b>
classe-4	0.243	-1.710	<b>-6.345</b>	<b>-2.081</b>	<b>3.715</b>	1.614
classe-5	-0.384	0.737	<b>-3.960</b>	0.370	<b>-5.891</b>	<b>-5.330</b>
orientation-4	<b>2.357</b>	-1.501	<b>-7.177</b>	0.389	1.444	1.953
orientation-5	<b>-5.215</b>	1.896	<b>5.970</b>	0.755	0.285	-1.233
orientation-6	<b>5.553</b>	-0.807	<b>2.069</b>	<b>-2.179</b>	<b>-3.262</b>	-1.313

Les valeurs affichées en gras sont significatives au seuil  $\alpha=0.05$

## La Presqu'île de Quiberon – 1952 – 2004

Coordonnées standard (Variables) :

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
route-0	-0.189	0.228	0.715	1.465	0.185	-0.112	-0.133	-0.774
route-4	0.176	-0.213	-0.668	-1.368	-0.173	0.105	0.124	0.723
chemin-0	-0.755	2.043	-1.321	1.010	-0.086	-1.152	1.006	-0.472
chemin-5	0.174	-0.471	0.305	-0.233	0.020	0.266	-0.232	0.109
falaise-3	3.015	0.537	-0.755	0.418	0.995	0.183	-0.485	0.516
falaise-4	-0.670	-0.119	0.168	-0.093	-0.221	-0.041	0.108	-0.115
vegetation-1	0.308	-1.989	0.254	0.013	0.179	-0.758	0.232	0.315
vegetation-2	2.601	1.626	-0.935	-0.478	-0.893	0.293	0.070	-1.327
vegetation-4	-1.269	1.109	0.138	0.172	0.188	0.548	-0.229	0.236
orientation-1	0.770	-2.698	0.652	4.932	-3.132	-3.267	-4.357	-1.059
orientation-2	-0.291	-5.007	0.049	-0.608	-1.593	1.665	3.729	-2.140
orientation-3	3.279	-4.535	-7.048	-3.797	8.483	2.427	-12.639	7.784
orientation-4	4.713	0.194	0.528	4.477	1.289	5.386	0.513	3.098
orientation-5	1.452	0.878	2.554	-0.026	2.932	-1.798	0.605	-2.682
orientation-6	0.213	1.146	0.729	-1.204	-1.729	-0.248	0.347	0.747
orientation-7	-1.407	0.092	-0.123	0.039	1.013	1.044	-1.368	0.407
orientation-8	0.314	-0.179	-2.933	0.169	0.312	-1.548	2.131	-0.483
classe recul-1	-0.469	-0.320	-1.627	-0.037	0.967	0.626	-0.261	-1.549
classe recul-2	0.095	0.126	-0.425	0.741	-1.708	-0.970	-0.590	1.317
classe recul-3	0.011	0.187	1.972	-0.086	2.488	-1.732	1.907	2.474
classe recul-4	0.400	0.138	1.728	0.754	-1.462	3.911	1.813	-0.426
classe recul-5	1.193	0.363	2.658	-3.878	-0.536	-0.819	-3.035	-3.010

Contributions (Variables) :

	Poids	Poids (relatif)	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
route-0	85	0.080	0.003	0.004	0.041	0.173	0.003	0.001	0.001	0.048
route-4	91	0.086	0.003	0.004	0.038	0.161	0.003	0.001	0.001	0.045
chemin-0	33	0.031	0.018	0.130	0.055	0.032	0.000	0.042	0.032	0.007
chemin-5	143	0.135	0.004	0.030	0.013	0.007	0.000	0.010	0.007	0.002
falaise-3	32	0.030	0.275	0.009	0.017	0.005	0.030	0.001	0.007	0.008
falaise-4	144	0.136	0.061	0.002	0.004	0.001	0.007	0.000	0.002	0.002
vegetation-1	68	0.064	0.006	0.255	0.004	0.000	0.002	0.037	0.003	0.006
vegetation-2	30	0.028	0.192	0.075	0.025	0.006	0.023	0.002	0.000	0.050
vegetation-4	78	0.074	0.119	0.091	0.001	0.002	0.003	0.022	0.004	0.004
orientation-1	8	0.008	0.004	0.055	0.003	0.184	0.074	0.081	0.144	0.008
orientation-2	10	0.009	0.001	0.237	0.000	0.003	0.024	0.026	0.132	0.043
orientation-3	1	0.001	0.010	0.019	0.047	0.014	0.068	0.006	0.151	0.057
orientation-4	6	0.006	0.126	0.000	0.002	0.114	0.009	0.165	0.001	0.055
orientation-5	17	0.016	0.034	0.012	0.105	0.000	0.138	0.052	0.006	0.116
orientation-6	52	0.049	0.002	0.065	0.026	0.071	0.147	0.003	0.006	0.027
orientation-7	56	0.053	0.105	0.000	0.001	0.000	0.054	0.058	0.099	0.009
orientation-8	26	0.025	0.002	0.001	0.212	0.001	0.002	0.059	0.112	0.006
classe recul-1	61	0.058	0.013	0.006	0.153	0.000	0.054	0.023	0.004	0.139
classe recul-2	55	0.052	0.000	0.001	0.009	0.029	0.152	0.049	0.018	0.090
classe recul-3	28	0.027	0.000	0.001	0.103	0.000	0.164	0.080	0.096	0.162
classe recul-4	19	0.018	0.003	0.000	0.054	0.010	0.038	0.275	0.059	0.003
classe recul-5	13	0.012	0.018	0.002	0.087	0.185	0.004	0.008	0.113	0.112

## Cosinus carrés (Variables) :

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
route-0	0.011	0.012	0.108	0.440	0.007	0.002	0.003	0.095
route-4	0.011	0.012	0.108	0.440	0.007	0.002	0.003	0.095
chemin-0	0.043	0.247	0.091	0.052	0.000	0.060	0.041	0.009
chemin-5	0.043	0.247	0.091	0.052	0.000	0.060	0.041	0.009
falaise-3	0.665	0.016	0.029	0.009	0.045	0.001	0.009	0.010
falaise-4	0.665	0.016	0.029	0.009	0.045	0.001	0.009	0.010
vegetation-1	0.020	0.640	0.009	0.000	0.004	0.071	0.006	0.011
vegetation-2	0.458	0.140	0.040	0.010	0.034	0.003	0.000	0.061
vegetation-4	0.422	0.251	0.003	0.005	0.006	0.047	0.007	0.007
orientation-1	0.009	0.089	0.005	0.254	0.096	0.099	0.158	0.009
orientation-2	0.002	0.388	0.000	0.005	0.031	0.033	0.146	0.047
orientation-3	0.020	0.030	0.064	0.018	0.085	0.007	0.160	0.059
orientation-4	0.258	0.000	0.002	0.155	0.012	0.200	0.002	0.057
orientation-5	0.074	0.021	0.157	0.000	0.189	0.068	0.007	0.130
orientation-6	0.006	0.141	0.050	0.133	0.258	0.005	0.009	0.040
orientation-7	0.304	0.001	0.002	0.000	0.098	0.100	0.153	0.013
orientation-8	0.006	0.001	0.336	0.001	0.003	0.081	0.138	0.007
classe recul-1	0.039	0.014	0.317	0.000	0.102	0.041	0.006	0.215
classe recul-2	0.001	0.002	0.019	0.055	0.273	0.084	0.028	0.133
classe recul-3	0.000	0.002	0.166	0.000	0.241	0.111	0.120	0.196
classe recul-4	0.006	0.001	0.082	0.015	0.053	0.362	0.070	0.004
classe recul-5	0.037	0.003	0.127	0.263	0.005	0.010	0.129	0.122

## Valeurs test (Variables) :

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
route-0	-1.384	1.475	<b>4.342</b>	<b>8.777</b>	1.071	-0.635	-0.710	<b>-4.072</b>
route-4	1.384	-1.475	<b>-4.342</b>	<b>-8.777</b>	-1.071	0.635	0.710	<b>4.072</b>
chemin-0	<b>-2.752</b>	<b>6.579</b>	<b>-3.988</b>	<b>3.007</b>	-0.247	<b>-3.240</b>	<b>2.673</b>	-1.233
chemin-5	<b>2.752</b>	<b>-6.579</b>	<b>3.988</b>	<b>-3.007</b>	0.247	<b>3.240</b>	<b>-2.673</b>	1.233
falaise-3	<b>10.792</b>	1.699	<b>-2.235</b>	1.222	<b>2.815</b>	0.506	-1.266	1.323
falaise-4	<b>-10.792</b>	-1.699	<b>2.235</b>	-1.222	<b>-2.815</b>	-0.506	1.266	-1.323
vegetation-1	1.854	<b>-10.582</b>	1.268	0.065	0.851	<b>-3.519</b>	1.016	1.359
vegetation-2	<b>8.951</b>	<b>4.942</b>	<b>-2.662</b>	-1.343	<b>-2.429</b>	0.777	0.176	<b>-3.271</b>
vegetation-4	<b>-8.593</b>	<b>6.632</b>	0.772	0.953	1.004	<b>2.860</b>	-1.129	1.144
orientation-1	1.277	<b>-3.947</b>	0.894	<b>6.672</b>	<b>-4.100</b>	<b>-4.172</b>	<b>-5.260</b>	-1.257
orientation-2	-0.542	<b>-8.240</b>	0.075	-0.925	<b>-2.346</b>	<b>2.391</b>	<b>5.063</b>	<b>-2.857</b>
orientation-3	1.882	<b>-2.299</b>	<b>-3.347</b>	-1.780	<b>3.848</b>	1.074	<b>-5.285</b>	<b>3.201</b>
orientation-4	<b>6.723</b>	0.244	0.623	<b>5.214</b>	1.453	<b>5.921</b>	0.533	<b>3.166</b>
orientation-5	<b>3.606</b>	1.924	<b>5.247</b>	-0.052	<b>5.752</b>	<b>-3.440</b>	1.094	<b>-4.772</b>
orientation-6	1.050	<b>4.975</b>	<b>2.966</b>	<b>-4.832</b>	<b>-6.719</b>	-0.941	1.243	<b>2.632</b>
orientation-7	<b>-7.297</b>	0.423	-0.528	0.165	<b>4.151</b>	<b>4.174</b>	<b>-5.170</b>	1.514
orientation-8	0.993	-0.499	<b>-7.673</b>	0.437	0.781	<b>-3.772</b>	<b>4.909</b>	-1.095
classe recul-1	<b>-2.596</b>	-1.563	<b>-7.443</b>	-0.168	<b>4.226</b>	<b>2.667</b>	-1.051	<b>-6.138</b>
classe recul-2	0.486	0.571	-1.800	<b>3.099</b>	<b>-6.908</b>	<b>-3.826</b>	<b>-2.202</b>	<b>4.832</b>
classe recul-3	0.035	0.545	<b>5.388</b>	-0.233	<b>6.494</b>	<b>-4.409</b>	<b>4.588</b>	<b>5.853</b>
classe recul-4	1.058	0.323	<b>3.778</b>	1.627	<b>-3.052</b>	<b>7.962</b>	<b>3.489</b>	-0.807
classe recul-5	<b>2.558</b>	0.687	<b>4.716</b>	<b>-6.790</b>	-0.908	-1.354	<b>-4.742</b>	<b>-4.624</b>

Les valeurs affichées en gras sont significatives au seuil  $\alpha=0.05$



## Le Golfe du Morbihan – 1952 – 2004

Coordonnées standard (Variables) :

	F1	F2	F3	F4	F5	F6
route-0	-0.065	0.477	0.891	0.887	0.011	-0.010
route-4	0.104	-0.757	-1.413	-1.406	-0.017	0.015
chemin-0	-0.087	0.592	-0.421	-0.533	0.313	0.044
chemin-5	0.275	-1.860	1.322	1.675	-0.983	-0.138
falaise-1	4.752	0.686	-0.434	0.292	-1.044	-0.025
falaise-2	-0.475	0.258	0.377	-0.451	0.053	-0.001
falaise-3	-0.632	-2.376	-2.274	2.913	0.496	0.028
vegetation-1	6.160	1.867	-0.473	0.599	0.069	-0.235
vegetation-2	0.301	-2.089	0.785	-0.308	0.388	0.054
vegetation-3	-0.697	0.853	-0.341	0.097	-0.195	-0.005
classe recul-1	0.333	-0.885	-0.779	-0.507	0.966	-0.053
classe recul-2	-0.342	0.687	0.371	0.426	-0.865	-2.981
classe recul-3	-0.233	-0.191	0.815	-1.255	-4.150	2.991
classe recul-4	-0.395	1.646	-1.289	3.075	1.459	3.109
classe recul-5	0.769	0.368	6.090	-2.105	5.397	1.823

Contributions (Variables) :

	Poids	Poids (relatif)	F1	F2	F3	F4	F5	F6
route-0	325	0.123	0.001	0.028	0.097	0.096	0.000	0.000
route-4	205	0.077	0.001	0.044	0.155	0.153	0.000	0.000
chemin-0	402	0.152	0.001	0.053	0.027	0.043	0.015	0.000
chemin-5	128	0.048	0.004	0.167	0.084	0.136	0.047	0.001
falaise-1	50	0.019	0.426	0.009	0.004	0.002	0.021	0.000
falaise-2	420	0.158	0.036	0.011	0.022	0.032	0.000	0.000
falaise-3	60	0.023	0.009	0.128	0.117	0.192	0.006	0.000
vegetation-1	30	0.011	0.430	0.039	0.003	0.004	0.000	0.001
vegetation-2	164	0.062	0.006	0.270	0.038	0.006	0.009	0.000
vegetation-3	336	0.127	0.062	0.092	0.015	0.001	0.005	0.000
classe recul-1	224	0.085	0.009	0.066	0.051	0.022	0.079	0.000
classe recul-2	148	0.056	0.007	0.026	0.008	0.010	0.042	0.496
classe recul-3	73	0.028	0.001	0.001	0.018	0.043	0.474	0.246
classe recul-4	62	0.023	0.004	0.063	0.039	0.221	0.050	0.226
classe recul-5	23	0.009	0.005	0.001	0.322	0.038	0.253	0.029

## Cosinus carrés (Variables) :

	F1	F2	F3	F4	F5	F6
route-0	0.002	0.091	0.287	0.262	0.000	0.000
route-4	0.002	0.091	0.287	0.262	0.000	0.000
chemin-0	0.007	0.279	0.127	0.188	0.063	0.001
chemin-5	0.007	0.279	0.127	0.188	0.063	0.001
falaise-1	0.665	0.012	0.004	0.002	0.023	0.000
falaise-2	0.244	0.064	0.123	0.163	0.002	0.000
falaise-3	0.014	0.182	0.150	0.227	0.006	0.000
vegetation-1	0.644	0.053	0.003	0.005	0.000	0.001
vegetation-2	0.011	0.495	0.063	0.009	0.014	0.000
vegetation-3	0.238	0.319	0.046	0.003	0.013	0.000
classe recul-1	0.023	0.145	0.101	0.040	0.139	0.000
classe recul-2	0.013	0.046	0.012	0.015	0.059	0.689
classe recul-3	0.002	0.001	0.024	0.053	0.560	0.286
classe recul-4	0.006	0.091	0.050	0.263	0.057	0.256
classe recul-5	0.008	0.002	0.383	0.042	0.269	0.030

## Valeurs test (Variables) :

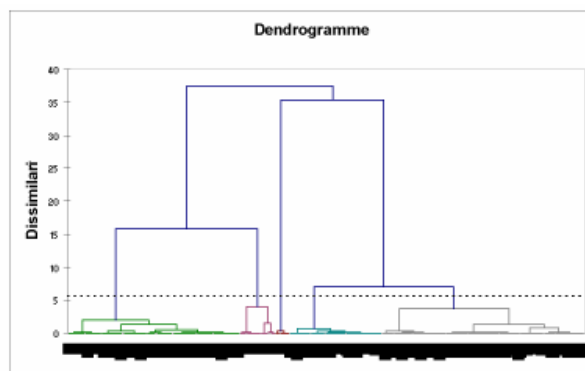
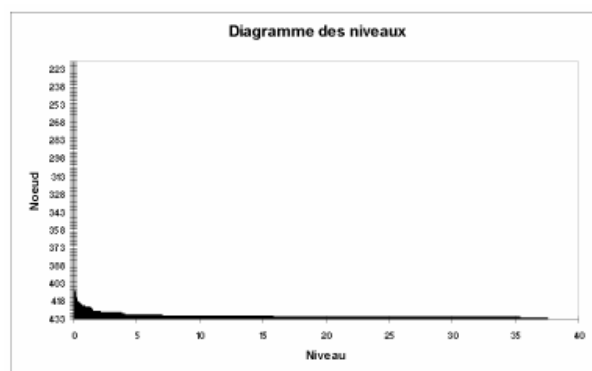
	F1	F2	F3	F4	F5	F6
route-0	-1.008	<b>6.953</b>	<b>12.316</b>	<b>11.764</b>	0.142	-0.123
route-4	1.008	<b>-6.953</b>	<b>-12.316</b>	<b>-11.764</b>	-0.142	0.123
chemin-0	-1.895	<b>12.143</b>	<b>-8.188</b>	<b>-9.960</b>	<b>5.758</b>	0.802
chemin-5	1.895	<b>-12.143</b>	<b>8.188</b>	<b>9.960</b>	<b>-5.758</b>	-0.802
falaise-1	<b>18.757</b>	<b>2.561</b>	-1.538	0.992	<b>-3.499</b>	-0.082
falaise-2	<b>-11.360</b>	<b>5.828</b>	<b>8.074</b>	<b>-9.285</b>	1.084	-0.021
falaise-3	<b>-2.764</b>	<b>-9.822</b>	<b>-8.916</b>	<b>10.969</b>	1.841	0.103
vegetation-1	<b>18.455</b>	<b>5.290</b>	-1.272	1.547	0.175	-0.593
vegetation-2	<b>2.464</b>	<b>-16.177</b>	<b>5.768</b>	<b>-2.173</b>	<b>2.696</b>	0.370
vegetation-3	<b>-11.217</b>	<b>12.986</b>	<b>-4.925</b>	1.344	<b>-2.671</b>	-0.070
classe recul-1	<b>3.480</b>	<b>-8.763</b>	<b>-7.314</b>	<b>-4.574</b>	<b>8.577</b>	-0.466
classe recul-2	<b>-2.606</b>	<b>4.949</b>	<b>2.532</b>	<b>2.794</b>	<b>-5.588</b>	<b>-19.085</b>
classe recul-3	-1.140	-0.882	<b>3.576</b>	<b>-5.288</b>	<b>-17.217</b>	<b>12.295</b>
classe recul-4	-1.758	<b>6.932</b>	<b>-5.150</b>	<b>11.795</b>	<b>5.514</b>	<b>11.641</b>
classe recul-5	<b>2.004</b>	0.906	<b>14.233</b>	<b>-4.724</b>	<b>11.934</b>	<b>3.995</b>

Les valeurs affichées en gras sont significatives au seuil  $\alpha=0.05$

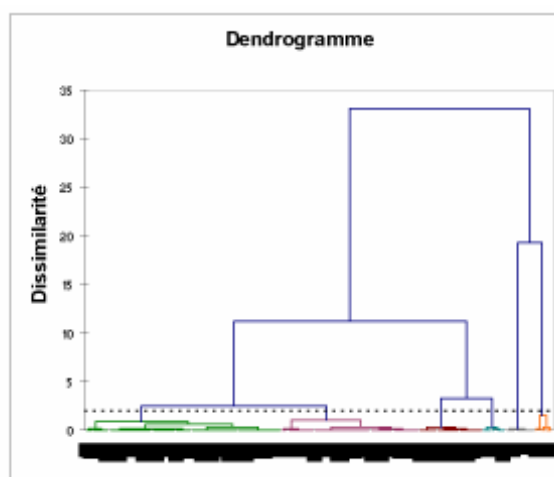
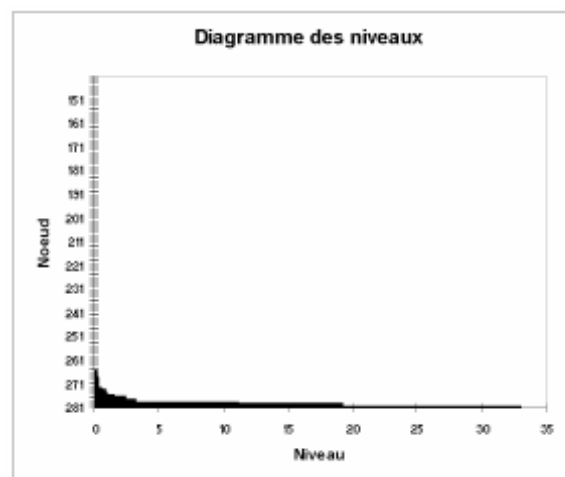
## ANNEXE G

## Dendrogrammes résultants des Classifications Ascendantes Hiérarchique

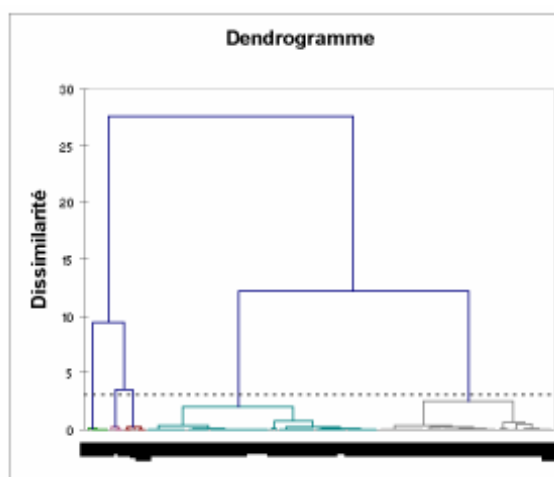
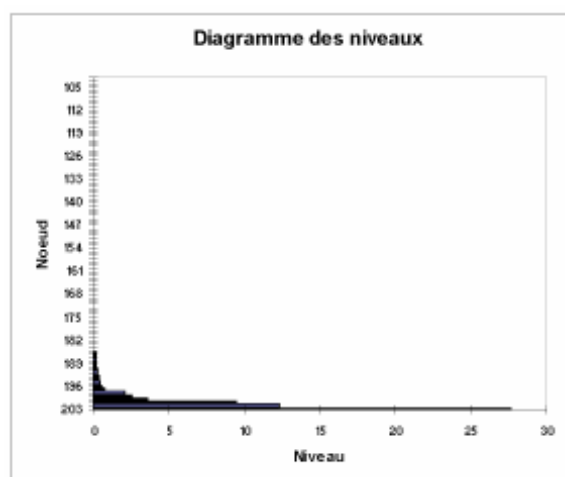
*Le massif dunaire Gâvres – Penthievre – 1952 – 2004*



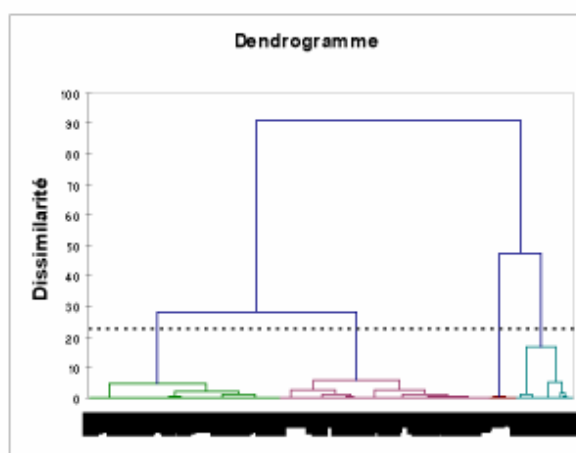
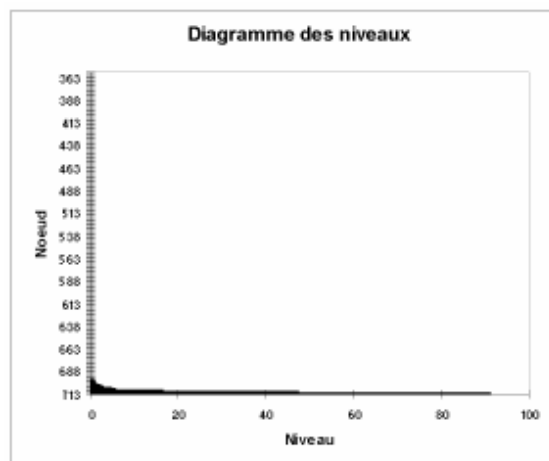
*Le massif dunaire Gâvres – Penthievre – 1952 – 1984*



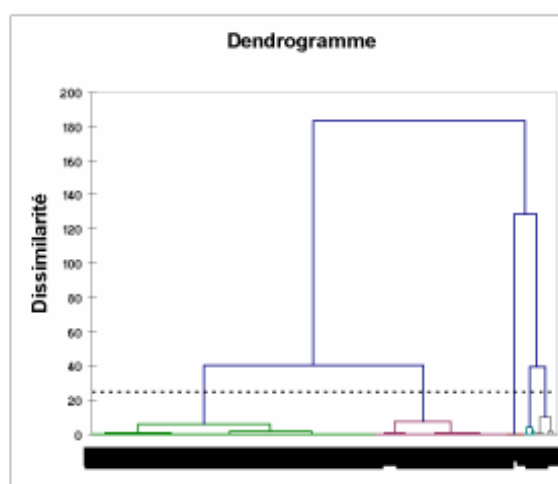
*Le massif dunaire Gâvres – Penthievre – 1984 – 1999*



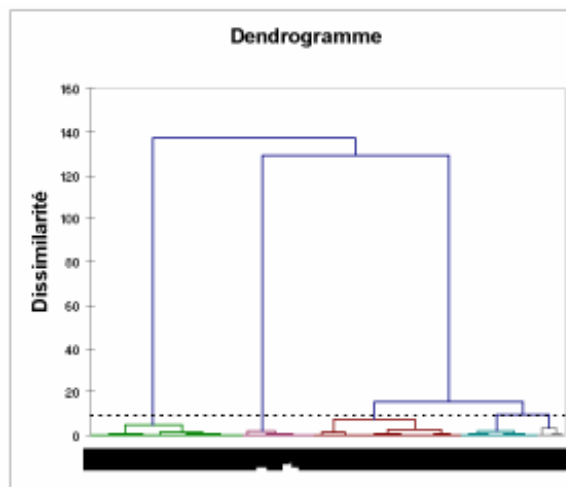
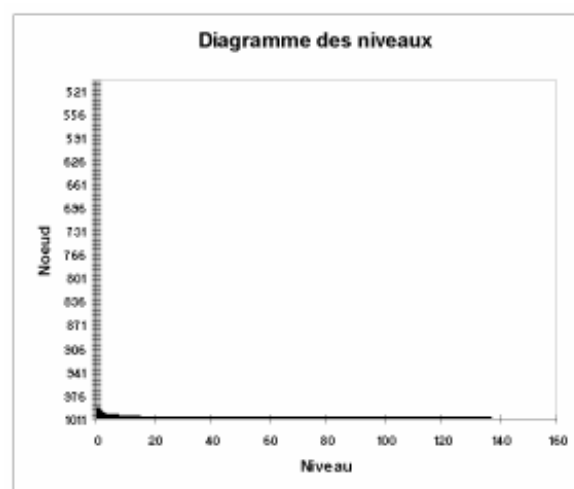
## Le massif dunaire Gâvres – Penthievre – 1999 – 2000



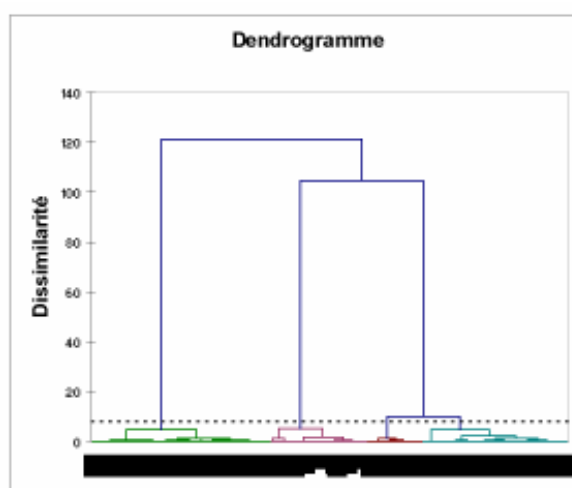
## Le massif dunaire Gâvres – Penthievre – 2000 – 2004



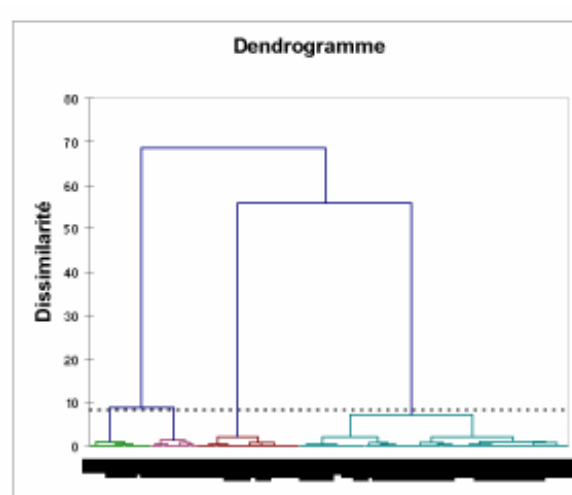
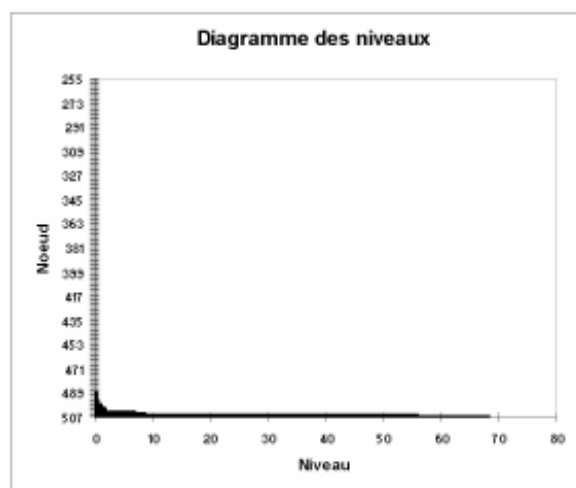
## La baie de Quiberon – 1952 – 2004



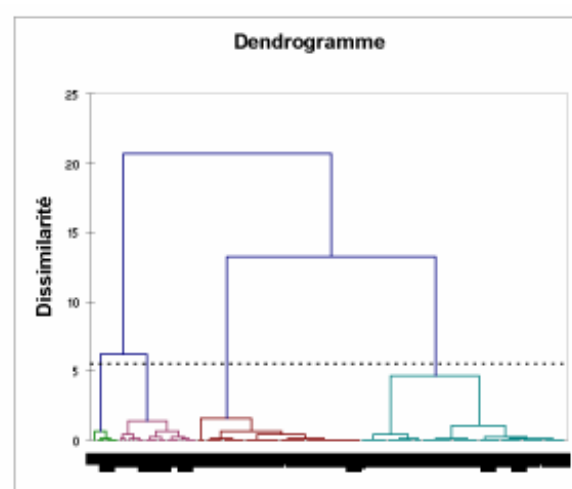
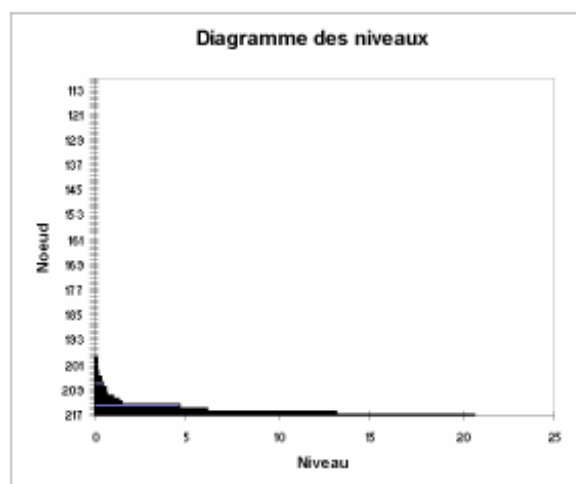
## La baie de Quiberon – 1952 – 1985



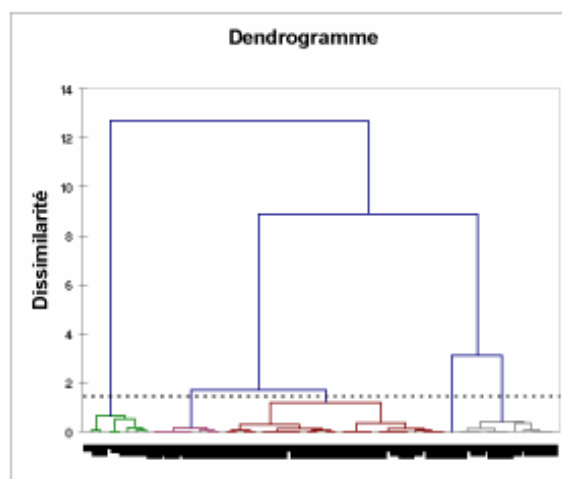
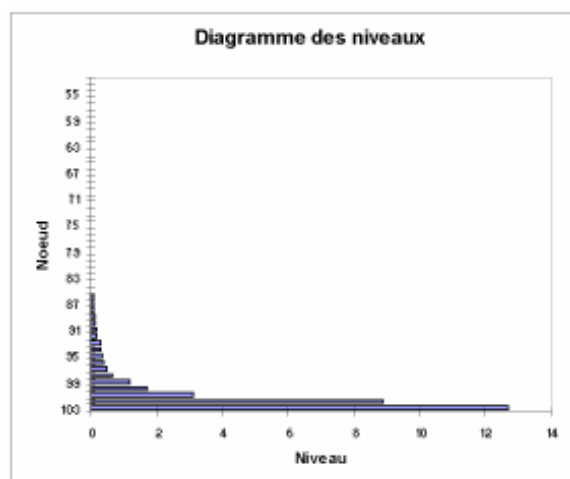
## La baie de Quiberon – 1985 – 2004



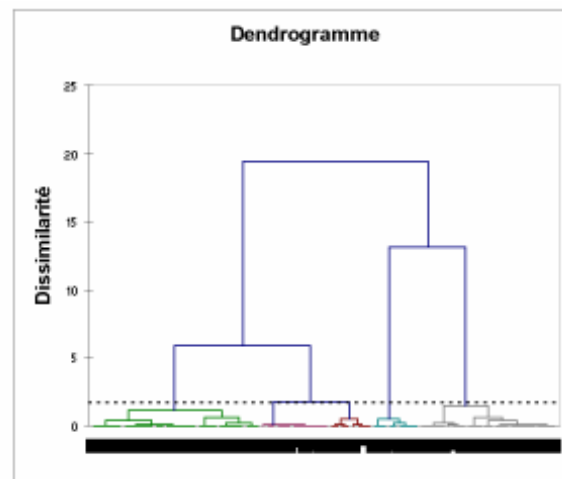
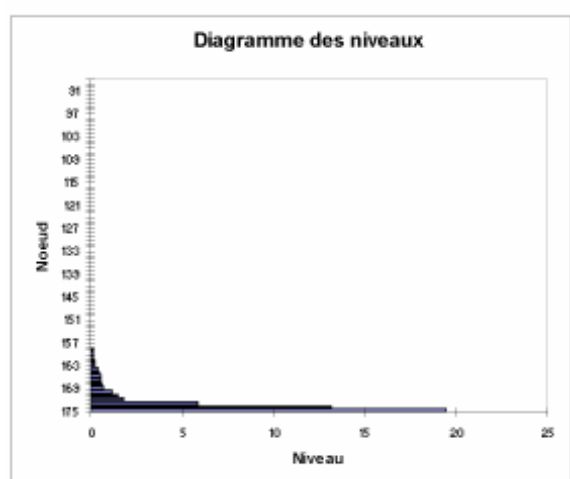
## La presqu'île de Rhuy - 1952 - 2004



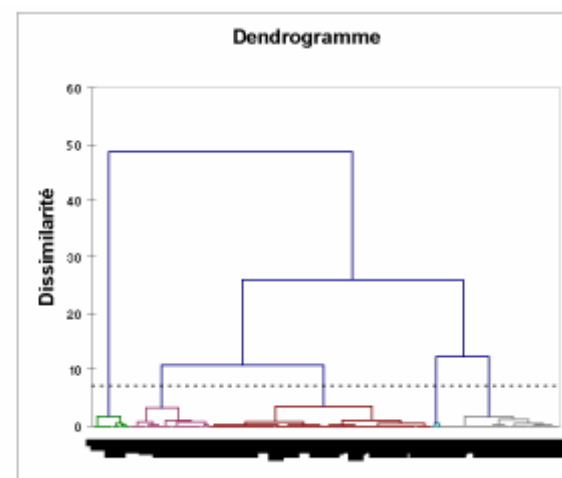
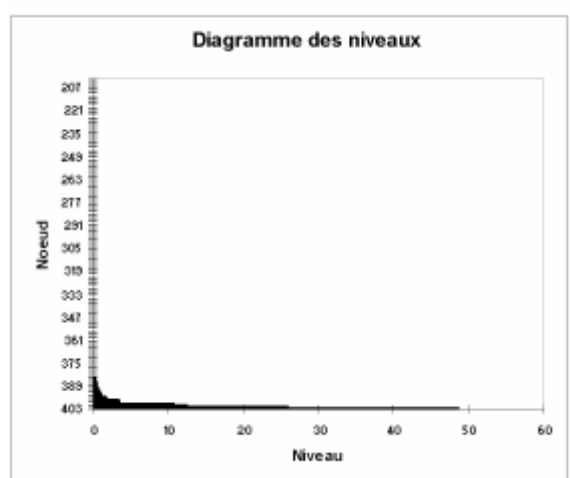
*La presqu'île de Rhuys - 1952 - 1985*



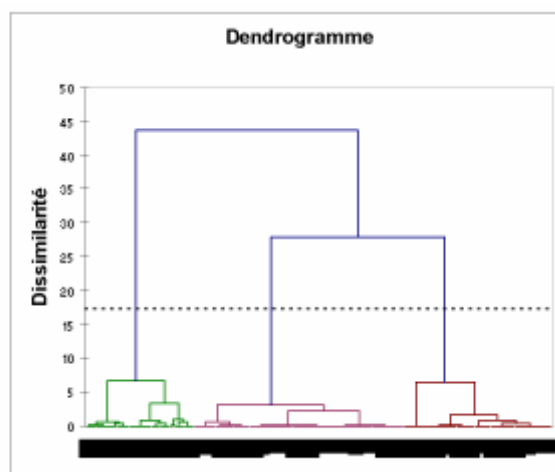
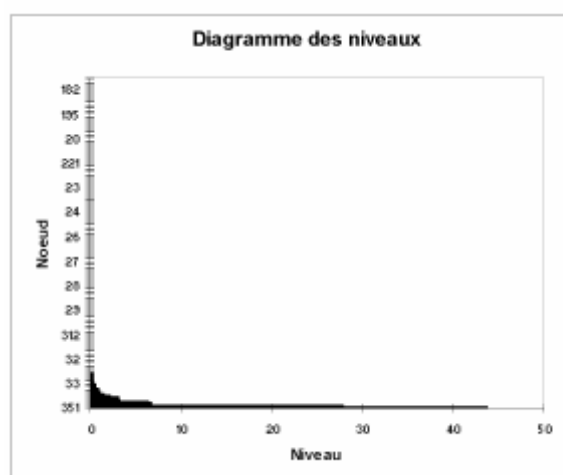
*La presqu'île de Rhuys - 1985 - 1999*



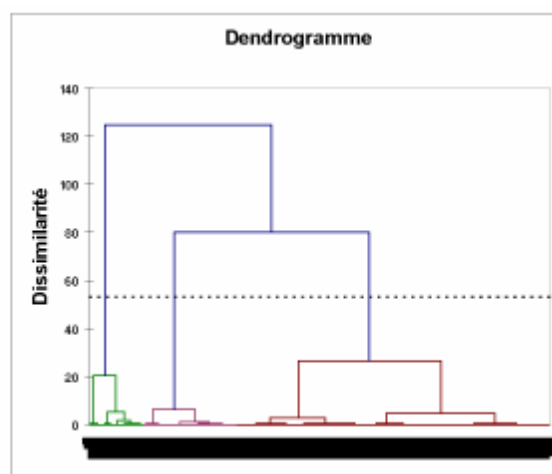
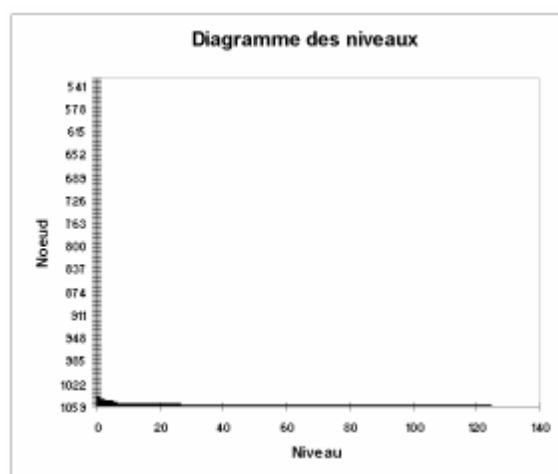
*La presqu'île de Rhuys - 1999 - 2004*



*La façade Ouest de la presqu'île de Quiberon*



*Le Golfe du Morbihan*



## ANNEXE H

**Récapitulatif des coefficients de marée prévalant le jour des levés des profils des plages**

date	terrain	coefficient marée
25/03/2008	Gâvres - Penthièvre	78
19/05/2008	Gâvres - Penthièvre	74
24/06/2008	Gâvres - Penthièvre	63
18/09/2008	Gâvres - Penthièvre	97
19/09/2008	Gâvres - Penthièvre	88
14/11/2008	Gâvres - Penthièvre	101
16/01/2009	Gâvres - Penthièvre	87
17/01/2009	Gâvres - Penthièvre	94
11/02/2008	Baie de Quiberon	90
27/03/2008	Baie de Quiberon	56
24/06/2008	Baie de Quiberon	63
02/09/2008	Baie de Quiberon	83
24/01/2009	Baie de Quiberon	63
27/01/2009	Baie de Quiberon	83
26/05/2009	Baie de Quiberon	94
25/06/2009	Baie de Quiberon	97
12/02/2008	Presqu'île de Rhuys	79
13/02/2008	Presqu'île de Rhuys	66
05/05/2008	Presqu'île de Rhuys	103
06/05/2008	Presqu'île de Rhuys	104
15/09/2008	Presqu'île de Rhuys	102
16/09/2008	Presqu'île de Rhuys	103
17/09/2008	Presqu'île de Rhuys	98
30/03/2009	Presqu'île de Rhuys	87
31/03/2009	Presqu'île de Rhuys	74

La valeur minimale des coefficients de marée, le jour des levés des profils, s'élève à 56 (secteur baie de Quiberon) et la valeur maximale s'élève à 104 (secteur presqu'île de Rhuys).



## ANNEXE I

## Comparaison des valeurs obtenues pour les paramètres d'échelonnements et de barres pour les différentes valeurs de Hb

Valeurs des paramètres obtenues pour Hb estimée à partir de la houle au large à l'aide la formule (9)

	Paramètre d'échelonnement de barre ( $\epsilon$ )				
	Mars 2008	Mai/Juin 2008	Sept 2008	Nov 2008	Février 2009
Gâvres	0.40	0.16	0.11	0.02	-
La falaise		0.66	0.35	1.60	-
Magouëro		0.75	0.26	1.59	-
Etel Ouest	7.21	0.72	2.07	5.24	-
Kerouriec		1.66	1.25		-
Kerhillio		0.16	0.10		-
	Mars 2008	Février 2009	Mai 2009		
Penthièvre Ouest	3.94	-	0.53		
	Paramètre de réplication de barre ( $\zeta$ )				
	Mars 2008	Mai/Juin 2008	Sept 2008	Nov 2008	Février 2009
Gâvres	0.27	0.34	0.20	0.13	-
La falaise		0.69	0.42	0.31	-
Magouëro		0.74	0.37	0.31	-
Etel Ouest	1.14	0.72	1.03	0.57	-
Kerouriec		0.51	0.80		-
Kerhillio		0.15	0.22		-
	Mars 2008	Février 2009	Mai 2009		
Penthièvre Ouest	0.57	-	0.33		

Valeurs des paramètres obtenues pour Hb estimée à partir des hauteurs de houles en bas de plage données par le modèle REFDIR-BZH

	Paramètre d'échelonnement de barre ( $\epsilon$ )				
	Mars 2008	Mai/Juin 2008	Sept 2008	Nov 2008	Février 2009
Gâvres	0.26	0.20	0.08	0.01	0.10
La falaise		0.85	0.25	0.87	2.53
Magouëro		0.97	0.20	0.96	1.67
Etel Ouest	4.64	0.93	1.54	3.17	6.30
Kerouriec		1.87	0.93		2.70
Kerhillio		0.19	0.07		0.49
	Mars 2008	Février 2009	Mai 2009		
Penthièvre Ouest	1.25	0.73	0.28		
	Paramètre de réplication de barre ( $\zeta$ )				
	Mars 2008	Mai/Juin 2008	Sept 2008	Nov 2008	Février 2009
Gâvres	0.16	0.29	0.13	0.04	0.24
La falaise		0.49	0.27	0.18	0.58
Magouëro		0.63	0.24	0.19	0.43
Etel Ouest	0.69	0.62	0.67	0.33	0.71
Kerouriec		0.50	0.52		0.62
Kerhillio		0.14	0.14		0.26
	Mars 2008	Février 2009	Mai 2009		
Penthièvre Ouest	0.24	0.24	0.18		

Quelque soit les valeurs de Hb retenues, les résultats obtenus pour les paramètres d'échelonnement et de réplication de barres sont compris dans les mêmes intervalles de valeurs et décrivent les mêmes types de comportements morphodynamiques, à l'exception des valeurs du paramètre d'échelonnement de barres sur la plage Penthièvre Ouest en Mars 2008, et des valeurs du paramètre de réplication de barres sur les plages de La Falaise, d'Etel Ouest en Novembre 2008 et de Penthièvre Ouest en Mai 2009. Ces valeurs sont indiquées en rouge. Pour ces trois derniers cas, les valeurs obtenues par l'une et l'autre méthode sont proches des valeurs seuils permettant de définir le passage du domaine intermédiaire au domaine dissipatif.

## ANNEXE J

## La tempête du 10 Mars 2008

Lors de l'analyse des variations des profils de plage (chapitre 2), l'occurrence d'une forte tempête le 10 Mars 2008 a été à plusieurs reprises évoquée. Dans la nuit du 9 Mars 2008 au 10 Mars 2008, une dépression localisée au Sud de l'Angleterre (*Bulletin météorologique du 10 Mars 2008 – METEO FRANCE*) a généré des vents violents, atteignant plus de 130 km/h à Vannes. Ce type de vents est enregistré en moyenne une fois par an (*Chapitre 1 – Lemasson, 1999*) au sémaphore du Talut (Belle Ile en Mer). Toutefois, conjugués à une forte houle ( $H_{max} > 11\text{m}$  à Ouessant) et à une marée de coefficient 104, ces vents violents ont généré une surcôte supérieure à 3m80 sur le Sud breton, (*Figure A.1*) provoquant la rupture d'un mur de défense contre la mer à Gâvres (*Photo A.1*), la destruction d'un parking (*Photo A.2*), et l'inondation d'une soixantaine de maisons (*Ouest France – 10 et 11 Mars 2008*).

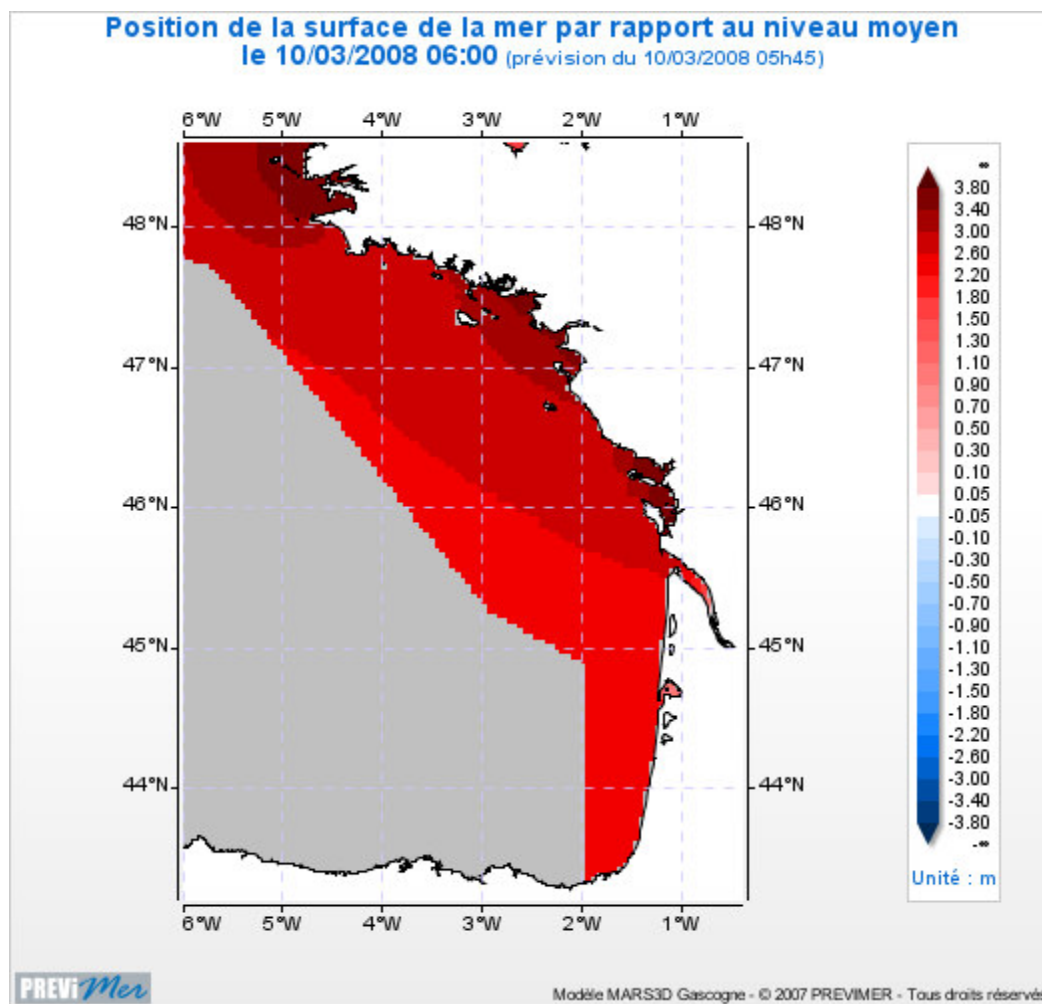




Photo A.1: Rupture d'un mur de défense contre la mer à Gâvres lors de la tempête du 10 Mars 2008.  
Photographie prise le 15 Mars 2008.



Photo A.2: Destruction du parking situé à l'arrière du mur de défense contre la mer à Gâvres lors de la tempête du 10 Mars 2008. Photographie prise le 15 Mars 2008.





Les travaux effectués dans le cadre de ce doctorat se sont intéressés au comportement géomorphologique des littoraux Sud bretons, situés entre la pointe du Talut (Lorient) et l'estuaire de la Vilaine (Penestin). Principalement constitués de côtes basses, composées de falaises altérées ou de systèmes dunes-plages, ces littoraux sont sensibles aux processus d'érosion favorisant le recul du trait de côte. De plus, les pressions anthropiques exercées sur la frange littorale augmentent fortement depuis les années 50 et favorisent une artificialisation croissante des espaces côtiers. Dans ce contexte, ces travaux ont cherché à appréhender l'incidence de la complexité des relations « *nature* » – « *société* » dans le fonctionnement géomorphologique de ces littoraux, en s'intéressant plus particulièrement à l'occurrence des processus érosifs. L'analyse est fondée sur une approche multiscalaire et multifactorielle, basée sur trois années de travail terrain, ainsi que sur une analyse spatiale et statistique des variations du trait de côte, sur différents pas de temps. Sur le long terme (échelle de temps pluri-décennale), l'analyse a consisté à mettre en relation les variations du trait de côte mesurées à partir de photographies aériennes avec une base de données SIG décrivant les facteurs contrôlant l'évolution du trait de côte. De cette manière, les relations de dépendances spatiales et statistiques entre les mouvements du trait de côte et ces facteurs ont pu être établies afin de hiérarchiser leurs rôles respectifs. L'analyse a été effectuée sur plusieurs pas de temps en fonction de la disponibilité des clichés aériens. Elle s'est intéressée à cinq systèmes côtiers : le Massif Dunaire Gâvres-Penthièvre, la presqu'île rocheuse de Quiberon, la baie de Quiberon, le Golfe du Morbihan et les plages Sud Est de la presqu'île de Rhuys. Sur le court terme (échelle de temps biannuelle), l'analyse a cherché à caractériser le comportement morphodynamique de 25 plages situées au sein du Massif Dunaire Gâvres-Penthièvre, de la baie de Quiberon et de la Presqu'île de Rhuys, à partir de données granulométriques, de données topographiques et de données modélisées de la houle au large et à la côte. Les résultats obtenus ont été comparés de manière à établir une typologie des comportements morphodynamiques et géomorphologiques. La combinaison des résultats obtenus a permis de proposer des modèles conceptuels du fonctionnement géomorphologique de ces systèmes côtiers et d'analyser la complexité des relations entre « contraintes naturelles » et « contraintes anthropiques ». A l'échelle des systèmes côtiers, les variations du trait de côte, sur les longs et moyens termes, sont principalement expliqués par des contraintes morphologiques et hydrodynamiques. Sur certains pas de temps, les mesures de protections des dunes bordières favorisent la progradation du front dunaire. A une échelle plus fine, le recul du trait de côte est contrôlé par des processus d'*érosion accélérée* ou par des processus d'*érosion anthropique*. L'analyse de ces interactions a permis de proposer une typologie des formes de vulnérabilité affectant les côtes de Bretagne Sud, intégrant l'importance relative du contrôle de l'élément anthropique dans l'occurrence et la localisation des processus érosifs.

This PhD deals with the geomorphologic behaviour of the South Brittany coast and more precisely, the part located between the *pointe du Talut* next to *Lorient* and the mouth of the river *Vilaine* near *Penestin*. Consisting essentially of low weathered cliffs and sand-dune/beach systems, the coast is particularly sensitive to erosion processes leading to shoreline retreat. Moreover, since the 1950s, the coast has been subjected to ever increasing man-induced pressures contributing to an ever growing artificial remodelling of the coastal fringe. In such a context, this study aimed at understanding the effect of the intricate interrelations between *nature* and *society* on the geomorphologic behaviour of the coast, with particular emphasis given to the occurrence of erosion processes. The analysis is based on a multi-scalar and multi-factorial approach backed by three years of field work, as well as on a spatial and statistical treatment of shoreline variations over various time intervals. From a long-term viewpoint with a multi-decennial timescale, the analysis consisted in relating shoreline variations measured from aerial photographs to a GIS database describing the factors controlling coastline evolution. In this way, it was possible to establish the spatial and statistical relations between the shoreline movements and the controlling factors in order to classify them in accordance with importance of their respective role. The analysis was carried out over several time intervals depending on the availability of aerial photographs. It focused on five coastal systems: the *Gâvres-Penthièvre* dune massif, the *Quiberon* rocky peninsula, the *Quiberon* bay, the Gulf of *Morbihan* and the beaches located south-east of the *Rhuys* peninsula. From a short-term viewpoint with a timescale based on half-year intervals, the study aimed at establishing the morphodynamic behaviour characteristics of twenty five beaches located within the *Gâvres-Penthièvre* dune massif, the *Quiberon* bay and the *Rhuys* peninsula, using granulometric and topographic data as well as offshore and nearshore modelled wave data. The combination of the results allowed to build conceptual models of the geomorphologic behaviour of each of these coastal systems, and to analysis interrelationships occurring between "*natural*" and "*anthropogenic*" constraints. At coastal system scale, coastline variations are driven by morphological and hydrodynamical constraints. Protections established on the sand-dunes could favour fronts dunes advances. Over a shorter space scale, shoreline retreat is controlled either by *accelerated erosion* or by *man-induced erosion* processes. From these results, it possible to propose a typology of the vulnerability affecting the South Brittany coast, which takes into account so called natural processes and the relative forcing of man-induced factors in the spatial localisation of erosion processes.